

# **Univerzita Karlova v Praze**

## **Přírodovědecká fakulta Ústav pro životní prostředí**

Studijní program: Ekologie a ochrana životního prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí



**Katherina Tesařová**

### **Možnosti využití obnovitelných zdrojů energie v Chile**

Possibilities of using renewable energy sources in Chile

Bakalářská práce

Školitel: Ing. Luboš Matějček, Ph. D.

Praha, 2016.

### **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Možnosti využití obnovitelných zdrojů energie v Chile“ vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v přiložené bibliografii.

V Praze, 19. 05. 2016

.....

### **Poděkování:**

Děkuji Ing. Luboši Matějčkoví, Ph. D. za rady, cennou pomoc a trpělivost při zpracovávání této bakalářské práce. Také bych poděkovala své rodině za podporu a připomínky a všem, kteří mi během zpracování bakalářské práce vyšli vstříc.

## **Abstrakt**

Cílem mé bakalářské práce je analyzovat všechny možné zdroje obnovitelné energie v Chile. Práce vychází z různých literárních a internetových zdrojů, pomocí nichž je získán ucelený pohled na tuto problematiku. Moje práce se zabývá zpracováním dostupné zahraniční literatury se zaměřením na zdroje solární, větrné, vodní, z vodních mas, geotermální a z biomasy. Vstupní data představují digitální mapy obsahující informace o ročním úhrnu slunečního záření a průměrných rychlostí větru na území Chile. Tímto způsobem bych shrnula celkový využitelný potenciál obnovitelných zdrojů energie. Tato analýza by tím přispívala k efektivnímu a udržitelnému čerpání obnovitelných zdrojů energie s cílem částečně nahradit nebo doplnit výrobu energie neobnovitelnými zdroji. Pak porovnávám Chile s různými státy jižní Ameriky pomocí GIS z hlediska výroby energie, emise CO<sub>2</sub> a využití různých obnovitelných zdrojů energie.

## **Abstract**

The goal of this bachelor's thesis is to analyse all types of renewable energy sources in Chile. During this work I used various literary and internet sources, which helped me create a whole and comprehensive view of this issue. My thesis deals with different literary sources focused on solar, wind, hydro, wave, geothermal and biomass energy. Input data are represented by digital maps containing yearly net radiation and average wind speed. This way I summarized all available energy potentials from different renewable sources as well as contributing to an effective and sustainable use of them, so to replace or complement not renewable sources of energy. Later on I used GIS program to compare the state of energies in Chile to other countries of South America (net energy generation, carbon emissions and renewable energy sources).

## **Seznam použitých zkratek**

CNE – Comisión Nacional de Energía (Národní energetická komise)

CODELCO – Corporación Nacional del Cobre (Národní korporace mědi)

HDP – Hrubý domácí produkt

IEA – International Energy Agency (Mezinárodní energetická agentura)

KSE – koncentrovaná solární energie

OZE – Obnovitelné zdroje energie

PPA – Power purchase agreement (Smlouva o nákupu elektřiny)

SCE – Sdružená cena energie (LCE, Levelized cost of energy)

SIC – Sistema Interconectado Central (Centrální propojený systém)

SING – Sistema Interconectado del Norte Grande (Severní propojený systém)

TOE – tonnes of oil equivalent (ekvivalent tuny ropy)

# 1. Obsah

2.	ÚVOD .....	8
3.	PŘEHLED CHILE .....	10
3. 1.	GEOGRAFIE CHILE .....	10
3. 2.	CHILSKÁ ENERGETICKÁ HISTORIE .....	12
3. 3.	SOUČASNÝ STAV .....	12
3. 4.	CHILSKÝ ENERGETICKÝ SYSTÉM.....	14
3. 5.	SOUČASNÁ SPOTŘEBA ENERGIE.....	16
3. 6.	EMISE CO <sub>2</sub> .....	17
3. 7.	ZÁKON O OZE .....	18
3. 8.	PROČ ZAVÉST OZE V CHILE? .....	19
4.	POTENCIÁL OZE V CHILE .....	20
4. 1.	SOLÁRNÍ ENERGIE V CHILE.....	20
4.1.1.	CO JE SOLÁRNÍ ENERGIE A JAK SE DÁ VYUŽIT.....	20
4.1.2.	DOSTUPNÁ DATA.....	21
4.1.3.	SOLÁRNÍ RADIACE V CHILE.....	22
4.1.4.	SOUČASNÝ INSTALOVANÝ VÝKON.....	24
4.1.5.	POSLEDNÍ VĚDECKÉ PRÁCE.....	24
4. 2.	VĚTRNÁ ENERGIE.....	27
4.2.1.	CO JE VĚTRNÁ ENERGIE.....	27
4.2.2.	AKTUÁLNÍ SITUACE VĚTRNÉ ENERGIE V CHILE.....	27
4.2.3.	SOUČASNÉ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY.....	29
4.2.4.	VĚTRNÁ ENERGIE NA VOLNÉM MOŘI.....	29
4. 3.	HYDROELEKTRICKÁ ENERGIA.....	31
4.3.1.	CO JE HYDROELEKTRICKÁ ENERGIE.....	31
4.3.2.	HISTORIE HYDROELEKTRICKÉ ENERGIE V CHILE.....	32
4.3.3.	DOPADY VĚLKÝCH VODNÍCH ELEKTRÁREN.....	32
4.3.4.	MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY.....	33
4.4.	ENERGIE Z VODNÍCH MAS.....	34
4.4.1.	CO JE ENERGIE Z VODNÍCH MAS.....	34
4.4.2.	SITUACE V CHILE.....	34
4.5.	GEOTERMÁLNÍ ENERGIE.....	36
4.5.1.	CO JE GEOTERMÁLNÍ ENERGIE.....	36
4.5.2.	STAV GEOTERMÁLNÍ ENERGIE V CHILE.....	37

4.5.3. HISTORIE CHILSKÉ GEOTERMÁLNÍ ENERGIE.....	37
4.5.4. PROBLÉMY SE ZAVEDENÍM GEOTERMÁLNÍ ENERGIE V CHILE.....	37
4.5.5. CO ŘÍKAJÍ STUDIE.....	39
4.6. BIOMASA.....	40
4.6.1. CO JE BIOMASA.....	40
4.6.2. SOUČASNÁ SITUACE V CHILE.....	40
4.6.3. PROBLÉMY ZPŮSOBENÉ SPÁLOVÁNÍM BIOMASY.....	41
5. POROVÁNÍ CHILE S OSTATNÍMI STÁTY JIŽNÍ AMERIKY.....	42
6. ZÁVĚR.....	43
7. LITERATURA.....	45
8. PŘÍLOHY.....	48

## 2. ÚVOD

V současné se době státy na celé planetě zabývají podobnými problémy: rostoucí spotřebou energie, vyčerpáním konvenčních fosilních paliv, zvýšením emisí CO<sub>2</sub> a globální klimatickou změnou. Obdobným problémům čelí státy v jižní Americe a kvůli tomu začínají provádět celostátní a dlouhodobé energetické politické strategie pro jejich další rozvoj. Obnovitelné zdroje energie se stávají za takových okolností významnou alternativou, díky svým menším dopadům na životní prostředí a větší zodpovědnosti vůči budoucím generacím.

V své bakalářské práci budu se zabývat energetickou situací v Chile, kde nastal vysoký ekonomický růst za poslední desetiletí a s tím související výše zmíněné problémy. Chilští zákonodárci musí najít řešení, jak podporovat další hospodářský růst a zároveň brát ohled na životní prostředí. V době nastupující energetické krize, v Chile rostou snahy omezit závislost na importovaných fosilních palivech a zároveň je tam snaha snížit množství vypuštěných skleníkových plynů, a proto je v Chile zvyšující se tlak na to, aby se hlavně využily OZE.

Chile je zemí, kde se vyskytuje mnoho možností využívat různé obnovitelné energetické zdroje. Je to hlavně díky rozmanitosti chilských geografických a klimatických podmínek. Na severu se nachází poušť Atacama, která je jednou z nejsušších pouští na světě s 360 slunečními dny v roce. Celé pobřeží u Tichého oceánu poskytuje vhodné podmínky pro větrné elektrárny a pro výrobu energie z mořských vln. Pohoří And na celém východě Chile je bohaté na ledovce a zamrzlé plochy, z kterých tečou řeky s vysokým spádem a tím i se značným potenciálem pro výrobu elektrické energie. Celá země patří k velkému geologickému celku zvanému Ohnivý kruh Tichomořského oceánu, kde probíhá subdukce litosférických desek. S tím jsou spojené časté zemětřesení a vulkanické činnosti, které představují jisté znamení geotermické energie. Jako poslední bych dodala, že intenzivní zemědělství a lesnictví mohou být bohatým zdrojem pro výrobu energie z biomasy.

Nicméně jenom malý podíl celkového potenciálu OZE je využíván pro výrobu elektrické energie. Důvodů může být několik, například: nedostatek znalostí místních geografických a klimatických podmínek, neochota vlády podporovat obnovitelné energie, ekonomika, která je více zaměřená na výrobu energie z konvenčních zdrojů, apod. Faktem je, že kvůli nedostatku finančních prostředků či nedůvěře v budoucí výnosnosti nových technologií



zaměřených na energetickou výrobu z OZE, investoři nejsou ochotní financovat spojené náklady na výstavbu vhodných zařízení. Chilská vláda ovšem schválila nový zákon o OZE, který nařizuje do roku 2020 dosáhnout až minimálně 20 % z celkové produkce energie z obnovitelných zdrojů.

V následujících kapitolách se pokusím vysvětlit a znázornit současnou energetickou situaci v Chile. První částí práce se zabývá Chile z geografického, z ekonomického a z energetického hlediska. Druhá část je zaměřena na jednotlivé druhy OZE. Nejdříve se prodiskutuje solární energie vyskytující se hlavně na severní části Chile. Dále se v této části podíváme na pobřeží celé země, kde se vyskytuje větrný potenciál. Následně se podívám na malé vodní elektrárny ve střední a jižní části Chile. Potom budu analyzovat energii geotermickou a energii z mořských proudů, které až do teď byly málo prozkoumané. Jako poslední nechám výrobní potenciál energie z biomasy. Shrnutí této práce zahrnuje přehled veškerých objevených informací a diskuzi možností skutečného využití energetického potenciálu obnovitelných zdrojů v Chile. Jako přílohy ukážu různé mapy vypracovány GIS systémem, kde se porovnávají různé státy Jižní Ameriky podle jejich spotřeby energie, fosilních paliv, využití OZE a emisí.

Je nutné doplnit, že problém výroby energie se týká nás všech. Pokud jeden stát bude produkovat obrovské množství skleníkových plynů (např. spalováním fosilních paliv pro výrobu energie), ty se budou neomezeně šířit do ostatních států nehlédě na hranice. Tato práce se soustředí na problematiku OZE jen v rámci jednoho státu, ale je to odrazem toho, jaká je situace ve světě. Jak se každý stát vypořádá s otázkou získávání energie z OZE, závisí na jeho místních podmínkách (ekonomických, geografických, politických, atd.). V případě vhodných geografických a klimatických podmínek v Chile, nejlepším řešením se zdá být zapojení obnovitelných zdrojů energie do integrovaného energetického systému, který se skládá z neobnovitelných a obnovitelných zdrojů.

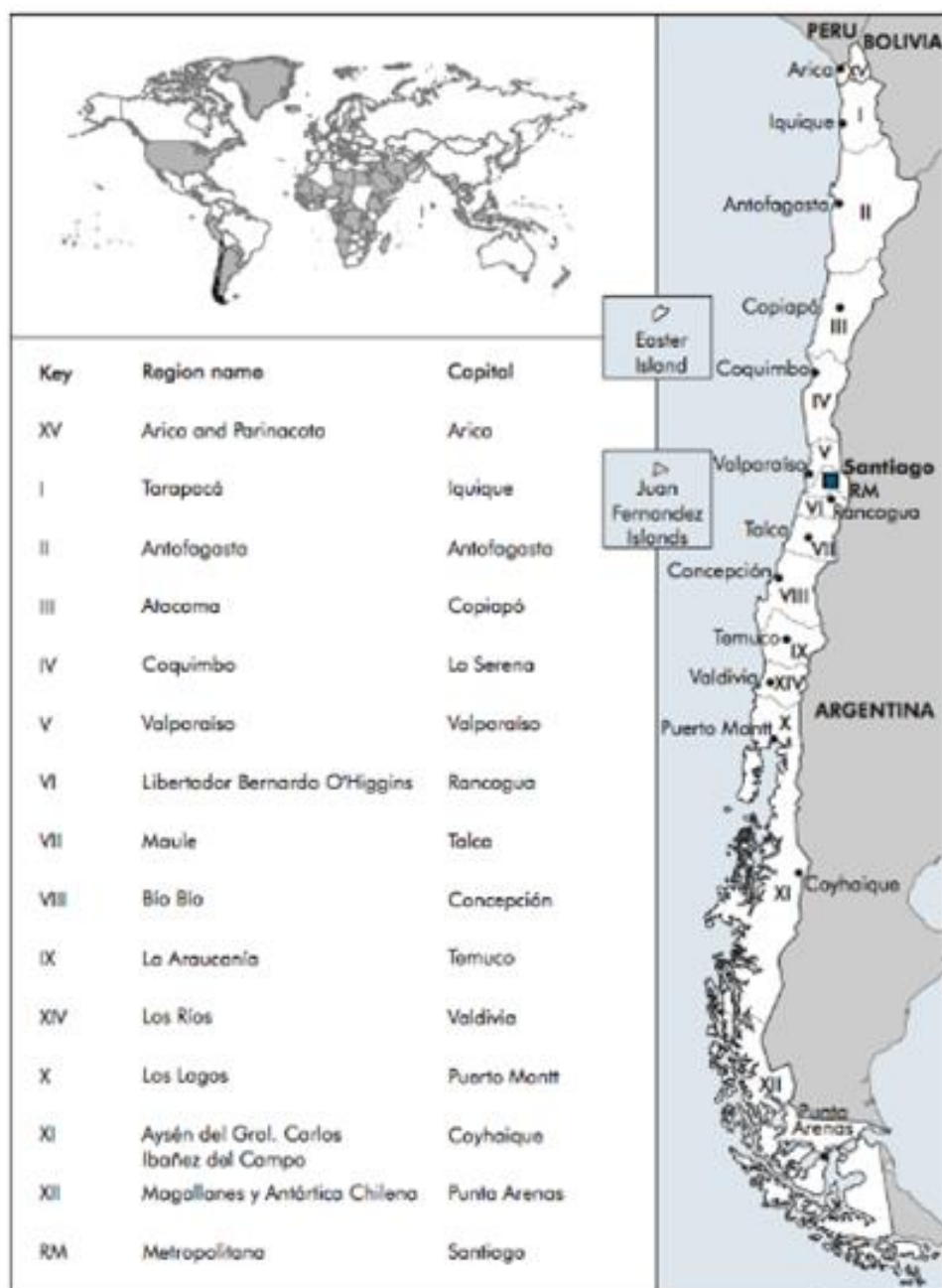
### 3. PŘEHLED CHILE

#### 3. 1. GEOGRAFIE CHILE

Chile se nachází v Jižní Americe, je lemováno pohořím And na východní straně a Tichým oceánem na západní straně. Na severu hraničí s Peru a s Bolívií, na západě za horami leží Argentina. Chile je dlouhé 4329 km ze severu na jih s nejširším bodem pouze 420 km (v průměru je široké asi 180 km). Má rozlohu 756 096 km<sup>2</sup> a v roce 2012 žilo tam přibližně 16 634 000 obyvatel. Administrativně se Chile dělí na 15 územních regionů, členěných od severu k jihu. (Obr. 1). Hlavním městem je Santiago de Chile, ležící ve středu země (Chilská Univerzita, 2016).

Z důvodů velké vzdálenosti mezi nejsevernějším a nejj jižnějším bodem je Chile velice rozmanitá země, co se týče geografických a klimatických podmínek, biodiverzity, atd. Na severu Chile je suché klima s jednou z nejsušších pouští na světě, pouští Atakama. Podle několika studií na poušti Atakama je jedna z nejvyšších radiací na světě a taky má poušť 360 bezoblačných dní v roce (Grágeda, 2016). Střed země má mediteranské podnebí. Jsou zde hlavní zemědělské a průmyslové aktivity a žije zde většina chilského obyvatelstva. Na jihu je chladné, deštivé a vlhké podnebí. V jižních oblastech jsou nádherné krajiny s hlavními Národními parky jako je například Torres del Paine v chilské Patagonii. Hlavním geografickým činitelem celé země je pohoří And, ve kterém se nachází tři desítky aktivních sopek a mnoho velkých řek s vysokým spádem, které tečou směrem k Tichému oceánu. V Chile je významný potenciál geotermální energie v aktivních místech, větrné energie u pacifického pobřeží a energie z mořských proudů.

Bohatství Chile spočívá v nerostných surovinách (jako jsou měď, nitráty, drahé kovy a molybden) a v přírodních zdrojích (hlavně dřevo a možnosti výroby hydroelektrické energie). Chile je jedním z největších světových výrobců a vývozců mědi a většina jeho těžebních společností je umístěna v severních oblastech Chile. Těžební průmysl je nejdůležitější ekonomickou činností a zároveň největším spotřebitelem elektrické energie. Přestože má země tolik různých nerostných zdrojů, vlastní zásoby fosilních paliv jsou zanedbatelné a více než 90% musí být dováženo (GENI, 2011).



**Obrázek 1:** Mapa polohy a administrativního rozdělení Chile (GENI, 2011)

### 3. 2. CHILSKÁ ENERGETICKÁ HISTORIE

Chile je považováno za ekonomicky úspěšnou zemi mezi jihoamerickými státy hlavně díky jeho rychlému hospodářskému růstu (růst se pohyboval v průměru na úrovni 5 %) od 80. let minulého století do současnosti (Mundaca, 2013). Těžba mědi, kterou provádí státní společnost CODELCO a další soukromé firmy je podstatnou částí chilského rozvoje. Chilská měď představuje 21 % světového trhu (Aspey, 2008).

Chilská ekonomika je založena na neoliberálním modelu s otevřenou ekonomikou pro zahraniční investory. Je uzavřen velký počet mezinárodních dohod na vývoz mědi a přírodních zdrojů zemědělství a lesnictví a na dovoz fosilních paliv pro výrobu elektrické energie. Generální zákon z roku 1982 o energetických službách byl založen na tržní konkurenci, kde soukromé firmy hrají důležitější roli než stát. (IEA, 2009). Státem neregulovaná ekonomika upřednostňovala tržní síly, volný obchod a privatizace, které měly některé nežádoucí environmentální a sociální důsledky (znečištění ovzduší, odlesnění, eroze půdy, sociální nerovnosti, atd.) (Mundaca, 2013).

Největší podíl na výrobě energie mají fosilní paliva (ropa, uhlí, plyn a nafta), která jsou většinou dovážena z Argentiny (plyn), Kolumbie, Venezuely (ropa), Kanady, Austrálie (uhlí), atd. Energie z fosilních paliv je nezbytná pro spotřebu v těžebních společnostech na severu. Hydroelektrická energie má taky velký význam v chilském energetickém systému. První vodní elektrárna Chivilingo byla postavena v roce 1897 v Lotě na jihu země. Později hydroelektrická energie byla rozvíjena v celé zemi (od středu k jihu) s využitím třech technologií: malé vodní elektrárny (s maximálním instalovaným výkonem 20 MW), vodní elektrárny s vodními nádržemi a průtočné vodní elektrárny (GENI, 2011).

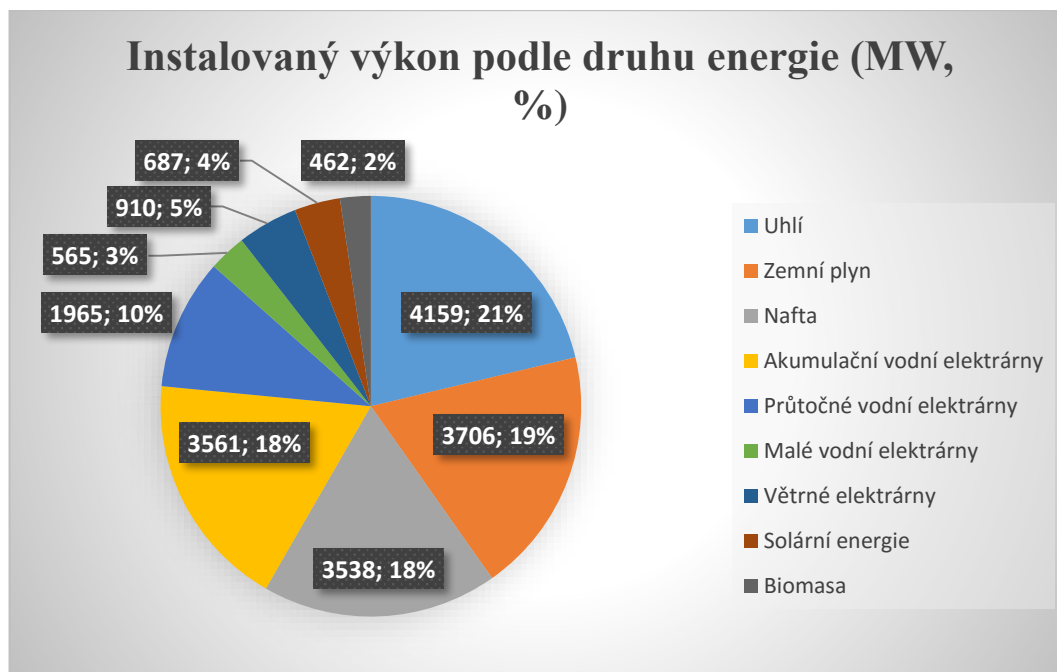
### 3. 3. SOUČASNÝ STAV

Celkový energetický výkon v Chile činil téměř přes 20 tisíc MW (CNE, 2016) v únoru letošního roku. Zdroje energie jsou uhlí, ropa, plyn, biomasa, vodní elektrárny, větrné elektrárny a solární energie. Většina fosilních paliv je dovážena (více než 90 %), jenom malé zásoby ropy a plynu se vyskytují na úplném jihu, v regionu Magallanes (OECD, 2013). Zemní plyn pocházel z Argentiny, i když v roce 2004 nastalo přerušení dodávek plynu z této země kvůli nedostatku zásob. Toto přerušení dodávek plynu znamenalo velkou krizi pro

chilskou energetiku a výpadky proudu se staly běžnými v největších městech. Chile se muselo rychle s tímto stavem vypořádat a začalo dovážet zkapalněný plyn a přestavělo elektrárny na novou generaci pohaněnou topným olejem. V roce 2014 se dováželo 4,8 bilionů m<sup>3</sup> plynu (4,3 milionů tun), 355.000 barelů ropy za den z Brazílie, Ekvádoru, Angoly a Kolumbie, a rovněž 6,8 milionů tun uhlí, hlavně z Kolumbie, Austrálie a Kanady (BP, 2015). Podle CNE, spalování fosilních paliv představovalo v roce 2016 58,3 % celkového instalovaného energetického výkonu Chile (CNE, 2016).

Vodní elektrárny představovaly 31,2 % celkového instalovaného výkonu energie (CNE, 2016). Spotřeba energie z vodních elektráren činila v roce 2014 23,8 TWh (BP, 2015). Nicméně kolem velkých hydroelektráren se objevily různé kontroverzní názory v chilské společnosti kvůli dopadům na životní prostředí, které způsobují. Například v roce 2011 byly velké demonstrace v celé zemi z důvodu megaprojektu HydroAysénu v Patagonii. Plánovaný výkon hydroelektrárny měl být 2750 MW a měla by zásobovat obyvatelstvo ve střední Chile a těžební společnosti na severu. Přehrada by zaplavila rozsáhlé území v panenské přírodě Patagonie. Protesty Chilanů a nesouhlas většiny společnosti vedly k úplnému zastavení a zrušení projektu. Na druhé straně častější období sucha (r. 1998-1999 a potom 2007-2008) neumožňují, aby energie z vodních elektráren byla dlouhodobě spolehlivá na 100 %.

Podle nejaktuálnějších zpráv CNE, další obnovitelné zdroje energie tvoří celkem 10,5 % celkového instalovaného výkonu (CNE, 2016), jak je vidět na obr. 2. V nich jsou započítány větrné elektrárny (4,7 %) solární energie (3,5 %) a energie z biomasy (2,4 %). Ještě v červnu 2014 celková výkonnost těchto OZE v provozu činila 1710 MW (8.67 % celkové elektrické výkonnosti) (Grágeda, 2016). V posledních letech se situace hodně změnila. V roce 2010 podíl energie ze solárních zdrojů byl ještě zanedbatelný (Larraín, 2010) a největší projekt větrné elektrárny až do roku 2008 byl Alto Baguales (jižní Chile) s instalovaným výkonem 2 MW (Valencia, 2008). U nukleární energie narážíme na několik problémů vzhledem k chilským zvláštním podmínkám. Za prvé, Chile nemá vlastní zásoby uranu a nákup by závisel na zahraničních dodavatelích. Za druhé, v Chile jsou běžná zemětřesení z důvodu subdukce litosférických desek na celé délce země. Pro příklad, zemětřesení z roku 1960 ve Valdivie na jihu Chile mělo sílu 9,5 stupně Richterovy stupnice. Je to největší zemětřesení, které bylo na světě dosud zaznamenáno. A za třetí, pod vlivem událostí z roku 2011 v nukleární elektrárně Fukushima I v Japonsku, kde došlo k nukleární katastrofě právě kvůli zemětřesení a následnému tsunami, chilská vláda se rozhodla nezahrnout nukleární energii v národním elektrickém plánu.



**Obrázek 2:** Instalovaný výkon podle druhu energie (CNE, 2016).


### 3. 4. CHILSKÝ ENERGETICKÝ SYSTÉM

Energetický systém v Chile je tvořen čtyřmi dílčími systémy (Obr. 3), které jsou oddělené a navzájem nezávislé. Mají vlastní úseky produkce, přenášení a distribuce energie. Zároveň se liší podle celkového instalovaného výkonu, geografických podmínek a počtu obyvatel (GENI, 2011).

Na severu se nachází systém SING (Sistema Interconectado del Norte Grande neboli Severní Propojený Systém), který poskytuje 23,08 % chilské elektrické energie. Přibližně 99,64 % energie SING systému pochází z tepelných elektráren na fosilní paliva a energie je hlavně využita pro společnosti na těžbu mědi další nerostné suroviny.

Ve střední části Chile se vyskytuje SIC systém (Sistema Interconectado Central neboli Centrální Propojený Systém), který závisí hlavně na hydroelektrické energii (53,46 % energie ze SIC systému pochází z vodních elektráren), ostatní energie je z tepelných elektráren a malý podíl (okolo 0,2 %) z větrných zdrojů. Většina chilského obyvatelstva žije v centrální části Chile a SIC systém zásobuje celkem 90 % chilské populace (jinak centralismus je vážným problémem v Chile z důvodů ekonomických, politických a taky energetických) (GENI, 2011).

Ostatní dva systémy jsou malé v porovnání se SING a SIC a pracují na vzdáleném jihu Chile. Systém Aysén a Systém Magallanes tvoří spolu necelou 1 % celkové energetické výroby energie (GENI, 2011).

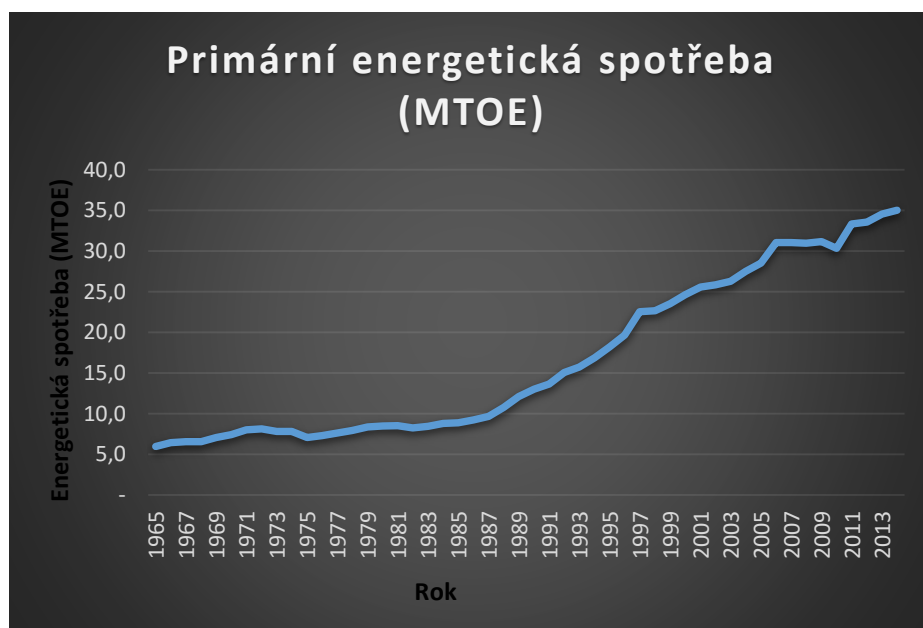
	Chile	Región	Celkový instalovaný výkon (MW)	Procentuální zastoupení
<b>SING</b>		Arica y Parinacota Tarapacá Antofagasta	4968	23,08%
<b>SIC</b>		Atacama Coquímbo Valparaíso Región Metropolitana Lib. Gral. Bdo. O'Higgins Maule Bío-Bío Araucanía Los Ríos Los Lagos	16 432,00	76,32%
<b>AYSÉN</b>		Aysén	49	0,23%
<b>MAGALLANES</b>		Magallanes	80	0,37%
		<b>Celkem</b>	<b>21529</b>	<b>100,00%</b>

**Obrázek 3:** Síť čtyř elektrických systémů s příslušnými instalovanými výkony (GENI, 2011).

### 3. 5. SOUČASNÁ SPOTŘEBA ENERGIE

Spolu s růstem HDP rovněž roste spotřeba elektrické energie, která se zvýší podle odborných odhadů o 5,5 % - 6,5 % ročně za období 2008-2025 (CNE, 2016). Populace také roste (a s ní samozřejmě i spotřeba energie) a očekává se, že v roce 2020 bude mít země 18 208 000 obyvatel.

Spotřeba energie se zvýšila za období 1990-2013 o 319 %, z 16 431 GWh na 68 866 GWh. Energie je distribuována mezi různé sektory, jako je doprava, obchod, obytné budovy, průmysl a těžba. Pouze průmysl a těžební společnosti spotřebují dohromady 68 % celkové produkce energie. Spotřeba energie v těžebním průmyslu taky významně roste, odhaduje se, že v období 2015-2025 spotřeba energie vzroste o 53,3 % (míra růstu 4 % ročně) (Ministerstvo těžby, 2015).

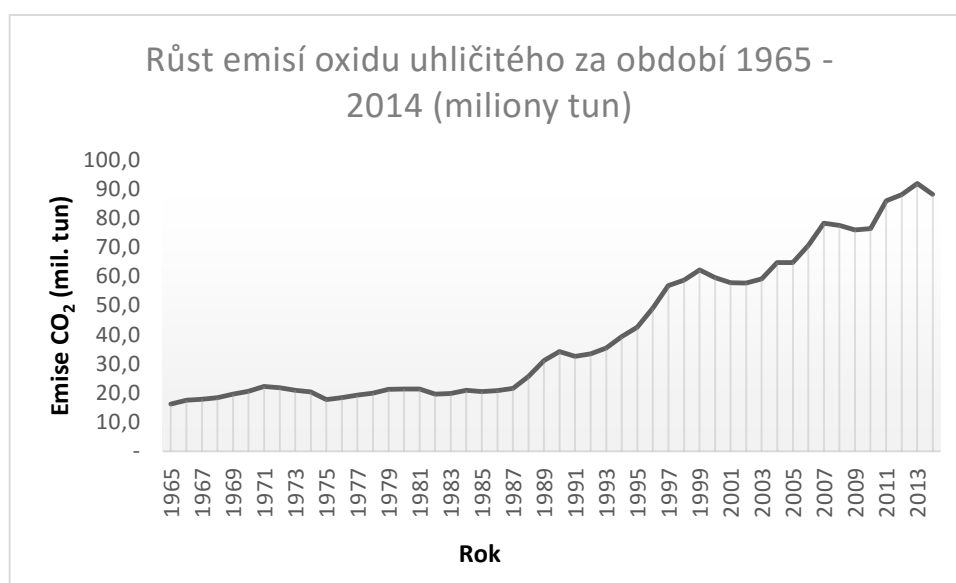


**Obrázek 4:** Primární energetická spotřeba v Chile v období 1965 – 2014  
(v milionech tun ekvivalentu ropy) (BP, 2015).



### 3. 6. EMISE CO<sub>2</sub>

Závislost na fosilních palivech v posledních dekáдах taky významně rostla, např. spotřeba ropy se ztrojnásobila. Spalování fosilních paliv koreluje s emisemi oxidu uhličitého do ovzduší. Bylo potvrzeno, že chilský ekonomický úspěch měl značné negativní dopady na životní prostředí. Chile je zařazeno na 50. místě světového seznamu podle státních emisí CO<sub>2</sub>. Kromě toho, má vysoké emise CO<sub>2</sub> per capita, celkem 4,3 tun na hlavu, což jsou páté nejvyšší emise v Americe. Chile nemá žádné právně závazné povinnosti ke Kyotskému protokolu a emise se přibližně zdvojnásobily mezi roky 1990 (32,7 milionů tun CO<sub>2</sub>) a 2007 (71 milionů tun CO<sub>2</sub>). Ten růst o 117 % je však menší, než když bereme růst od roku 1971 (241 % růstu) (Mundaca, 2013). Růst emisí oxidu uhličitého můžeme vidět v obr. 5.



**Obrázek 5:** Emise CO<sub>2</sub> v období 1965-2014 (v milionech tun) (BP, 2015).

### 3. 7. ZÁKON O OZE

Ačkoliv současný podíl OZE v chilském energetickém systému je nízký, chilská vláda usilovala, aby se zvýšil. V roce 2008 vyšel zákon č. 20 257, který vyžadoval, aby do roku 2014 alespoň 5 % z celkové prodané energie z různých distribučních energetických firem bylo vyrobeno z obnovitelných zdrojů. Do roku 2024 to musí být aspoň 10 % (Hanel & Escobar, 2013). Další zákon č. 20 698 z roku 2013 vydal nařízení, aby do roku 2025 elektrárny s výkonem větším jak 200 MW pracovaly s minimálně 20 % energií pocházejících z OZE (Grágeda, 2016).

Pokroky ve využívání OZE byly velice opožděné, když bereme v úvahu rozsáhlý a rozmanitý potenciál obnovitelné energie v Chile a proti tomu významnou závislost na dovozech fosilních paliv (Mundaca, 2013).

Chilská vláda vymezila pojem „Energie z obnovitelných nekonvenčních zdrojů“ jako energii vygenerovanou z obnovitelných zdrojů (biomasa, vítr, geotermální energie, solární a vodní zdroje). V případě vodní energie elektrárna musí mít výkon menší než 20 MW.

### 3. 8. PROČ ZAVÉST OZE V CHILE?

Spotřeba energie má stále rostoucí charakter a předpokládá se, že v budoucích letech bude pořád růst. Aby Chile mohlo uspokojit rostoucí poptávku po energii, bude se zvyšovat závislost na dovozech fosilních paliv ze zahraničí. To způsobuje ekonomickou nejistotu kvůli pohybům cen a tržní nestálosti, jak se to například stalo v roce 2004, když Argentina přerušila dovoz zemního plynu do Chile. Nejenom, že Chile dováží energetické zdroje, které mají vysoký dopad na životní prostředí jako například uhlí, ale taky se přešlo k importu více nákladných zdrojů jako je zkapalněný plyn. Tyto konkrétní kroky, které Chile zavedlo, aby si zajistilo energetické dodávky, jsou v rozporu s politikou udržitelného rozvoje (Hanel & Escobar, 2013).

Na druhé straně, pokud Chile chce snížit emise skleníkových plynů, musí zavádět opatření k produkci energie ze zdrojů, které neemitují skleníkové plyny. Zdroje obnovitelné energie jako jsou solární, větrné, geotermální a vodní (jak z řek, tak z mořských proudů) emitují jenom nepatrné množství oxidu uhličitého do ovzduší v porovnání s fosilními zdroji. Tím by Chile mohlo redukovat svou uhlíkovou stopu ve světě.

Nutno říci, že v Chile obnovitelné zdroje (solární, větrné, geotermální, vodní a z biomasy) mají obrovský energetický potenciál díky rozmanitosti geografických a klimatických podmínek. V příštích kapitolách budu analyzovat každý z těchto zdrojů samostatně, abych zjistila jeho skutečný potenciál a proveditelnost jeho využití z různých hledisek (ekonomických, technologických, politických, atd.).

Chile potřebuje celostátní a dlouhodobý strategický plán pro vývoj OZE s úplným vyhodnocením těchto zdrojů. Tímto způsobem by získalo zajištěné, trvalé a rozmanité energetické zásoby, které se mohou vést k vyváženému energetickému mixu.

Pokud bude pokračovat využití OZE stejným tempem jako v posledních letech, tak v roce 2030 podíl energie získané z OZE bude činit jenom 8,5 % (GENI, 2011). Podle mého názoru, Chile by mělo provést ambicióznější opatření na zavedení výroby energie z čistých a domácích zdrojů. Je to vůbec možné? Má Chile takový potenciál OZE? Cílem této práce je zodpovědět tuto otázku.

## 4. POTENCIÁL OZE V CHILE

### 4. 1. SOLÁRNÍ ENERGIE V CHILE

#### 4.1.1. CO JE SOLÁRNÍ ENERGIE A JAK SE DÁ VYUŽÍT

Je to energie v podobě tepelných, světelných a ultrafialových paprsků, dopadající na zemské ploše. Je to čistá a věčně se obnovující energie, ale není stálá (výpadky během noci a při oblačném počasí). Proto technologie využívající sluneční energie se musí kombinovat s akumulátory energie nebo s rezervními klasickými zdroji energie. S celosvětovým zdražováním paliv stále více roste zájem o užívání sluneční energie technickými systémy, zejména pomocí termosolárních nebo fotovoltaických panelů a systémů.

Sluneční kolektory: jejich úkol je převádět co nejvíce dopadající sluneční energie na teplo, kterým se ohřívá pracovní látka (obvykle voda, olej nebo nemrznoucí kapalná směs). Kolektory máme různé podle tvaru a vybavení: průtokové, ploché, vakuové a koncentrační kolektory (kterými se budeme zabývat v příštích paragrafech).

Termosolární koncentrační kolektory neboli KSE (koncentrační solární energie): soustřeďují oknem vstupující záření pomocí dutých zrcadel na menší plochu trubcových ohřívačů pracovní látky. Aby dosáhly dobré účinnosti, musejí se natáčet za pohybujícím se Sluncem. Teplo z absorberu tekutina předává trubkovým výměníkem do zásobníku horké vody (bojleru). Větší solární systémy jsou vybaveny akumulátorem tepla a propojeny přímo na systém ústředního topení. V létě lze využitím slunečního tepla objekt naopak ochlazovat. Solární klimatizační zařízení ochlazuje vzduch principem absorpční chladničky.

Solární elektrárny mohou být typu věžové elektrárny: otáčivá a naklápěcí zrcadla soustřeďují paprsky na trubkovnicový sběrač kotle, umístěného na vysoké věži. Tam se zahřívá voda a pára pohání turboalternátor (účinnost přeměny až 17 %). Účinnost může se zvýšit nikoliv ohřevem vody nýbrž vzduchu v tzv. kombinovaném cyklu s plynovou turbínou. Kromě toho existují kolektorové sluneční elektrárny: koncentrují sluneční paprsky čočkami nebo dutými zrcadly v naklápěcích trubkových kolektorech ohřívajících v ohnisku olej na několik stovek °C. Horkým médiem v okruhu se teplo přenáší výměníkem na vodu a páru k pohonu turboalternátoru. Účinnost je nižší než u věžových elektráren. Kombinují se

s olejovým nebo šterkovým akumulátorem tepla, aby po západu slunce mohl turboalternátor ze zásoby tepla pracovat ještě několik hodin a pomohl překonat večerní špičku v odběru

Fotovoltaické články a panely: Sluneční článek je založen na fotovoltaickém jevu. Jde o jev, při němž s v látce působením světla (proudu fotonů) uvolňují elektrony. Nastává v některých polovodičových materiálech (křemík, germanium, atd.). Na přechodu dvou polovodičů, z nichž jeden vykazuje elektronovou vodivost (typ N) a druhý (typ P) se vyznačuje vodivostí děrovou (kladné náboje), se náboje rozdělí na protilehlé strany. Vrstva N se nabíjí záporně, vrstva P kladně. Propojením kovových kontaktů obou destiček přes zátěž se náboje vyrovnávají a obvodem protéká stejnosměrný proud, přímo úměrný osvětlené ploše článku a intenzitě dopadajícího záření. Nejrozšířenější jsou tzv. křemíkové sluneční články. Používají se buď monokrystalické články (jenom křemík) nebo polykrystalické články (mají i další kovy aby zlevnily náklady) (Augusta, 2001).

#### 4.1.2. DOSTUPNÁ DATA

V současnosti Chile nemá celostátní databázi dostupných solárních zdrojů energie. Chilský meteorologický servis vlastní několik měřících stanic, kde pracují 40 let stará zařízení a rovněž nejsou správně kalibrovány. Provedená měření spočívají hlavně v satelitních snímcích a v terénních měřeních vedeným Národní Energetickou Komisí (CNE, Comisión Nacional de Energía). Mezi oběma metodami existují značné odchylky a až 40 % nejistoty v měření. Existují regiony na severu s předpokládanou vysokou solární radiací, kde nejsou žádná dostupná data nebo regiony s dostatkem informací, které však mají vysoký rozptyl výsledků nebo nejsou konzistentní. To vede ke značné nejistotě při zjištění konečné ceny solárních elektráren (Hanel & Escobar, 2013). Je nezbytné, aby bylo zavedeno celostátní a dlouhodobé zdrojové hodnocení pomocí kalibrovaných měřících stanic (Ortega *et al.*, 2010). Bez takového hodnocení, jakákoli snaha o energetické plánování bude vážně narušena. Chybná vstupní data o přímé solární radiaci by mohla vést k chybným konečným parametrům slunečních kolektorů a zároveň k vážným finančním problémům. To je důvod, proč současný podíl energie ze solárních zdrojů v chilském energetickém systému je nedostatečný (Hanel & Escobar, 2013).

#### 4.1.3. SOLÁRNÍ RADIACE V CHILE

Navzdory těmto nedostatkům, různé studie říkají, že dostupná solární radiace a chilské klimatické podmínky jsou lepší než v jiných oblastech, kde jsou běžně využívána zařízení na převod sluneční energie na elektrickou (Larraín, 2010). V severním Chile se nachází poušť Atakama s rozlohou 139,860 km<sup>2</sup>. Je jedna z nejsušších pouští na světě (celkový roční úhrn srážek je 0,6 mm). Průměrná celoroční radiace neboli ozáření činí 275 W·m<sup>-2</sup>. V Tab. 1 můžeme vidět porovnání nejvýznamnějších pouští na světě, jejich vyžadovanou plochu k zásobování spotřeby energie 3 TW (10 800 TWh) a celkovou průměrnou ozáření (GENI, 2011).

Poloha / poušť	Velikost poušti v km <sup>2</sup>	Vyžadovaná plocha (km <sup>2</sup> )	Ozáření W·m <sup>-2</sup>
Afrika / Sahara	9 064 960	144 231	260
Austrálie / Great Sandy	388 500	141 509	265
Čína / Takla Makan	271 950	178 571	210
Asie / Arabská	2 589 910	138 889	270
Jižní Amerika / Atakama	139 860	136 364	275
Spojené Státy / Great Basin	492 100	170 455	220

**Tabulka 1:** Místa s největším celkovou průměrnou ozáření na světě a jejich potřebná plocha, která by poskytovala výkon 10 800 TWh (GENI, 2011).

Celkový odhadovaný potenciální výkon solární energie v Chile je 1 640 128 MW pro fotovoltaické panely a 552 871 MW pro termosolární elektrárny (Ministerstvo energie, 2014). Severní regiony v Chile zdají se být ideálním místem pro zavedení solárních elektrických projektů vzhledem ke zdejším značným koncentracím těžebních společností a jejich vysoké spotřebě energie. Vedle toho, jejich geografické umístění poskytuje dobré klimatické podmínky (vysoká sluneční radiace a 360 slunečných dní v roce) pro stavbu fotovoltaických a termosolárních elektráren (Grágeda, 2016). V obr. 6 je chilská mapa s celkovým ročním ozářením za rok z programu **SolarGIS © 2016 GeoModel Solar**.

# Global Horizontal Irradiation (GHI) Chile Mainlands



**Obrázek 6:** Horizontální roční ozáření v Chile v kWh·m<sup>-2</sup> (Solargis, 2016).

#### 4.1.4. SOUČASNÝ INSTALOVANÝ VÝKON

Podle (BP, 2015) na konci roku 2014, byly v provozu nebo ve fázi konstrukce solární elektrárny s celkovým instalovaným výkonem 2384 MW. Též byly navrženy solární elektrárny s výkonem větším jak 10 000 MW. Největší solární fotovoltaická elektrárna je v současnosti fotovoltaická elektrárna Sunedison Amanecer Solar v třetím regionu Chile s instalovaným výkonem 93,65 MW (Grágeda, 2016).

#### 4.1.5. POSLEDNÍ VĚDECKÉ PRÁCE

Podle „Hanel & Escobar, 2013“ v oblasti Atakamy jsou splněné 3 základní podmínky pro rozvoj termosolární energie: vysoká úroveň radiace a velký počet bezoblačných dní v roce, blízkost hlavních středisek spotřeby energie jako je důlní průmysl (konzumují největší podíl spotřebované energie s nepřetržitou poptávkou) a rovnost krajiny s dostatkem nevyužívaných terénů. Ve zmíněné práci použili ekonomický model na zjištění sdružené ceny energie, SCE (LCOE: levelized cost of energy), která zohledňuje náklady v průběhu celého životního cyklu elektrické produkce. Jednoduše, SCE je cena jednotky vyrobené energie, kterou musí elektrárna dosáhnout, aby pokryla veškeré vynaložené náklady. Pokud cena vyrobené energie bude větší než SCE, projekt bude uskutečnitelný. V opačných případech, bude potřeba státní ekonomické podpory, aby projekt byl lákavý pro investory.

Výsledky ukazují, že nejnižší SCE mají projekty s termálním ukládáním energie a s podporou fosilních paliv (až 260 USD·MWh<sup>-1</sup>). Nejvyšší SCE vykazují projekty, které mají jenom solární kolektory a které jsou zároveň limitovány dostupností slunečných hodin (mezi 410 a 460 USD·MWh<sup>-1</sup>). Rozdíly v SCE podle hodnot solární radiace jsou značné, což může způsobit vážná finanční rizika v případě špatně odhadnuté radiace. Nejistota solárních dat musí být brána v úvahu (Hanel & Escobar, 2013).

Jiná práce (del Sol & Sauma, 2013) se zaměřila na náklady investic u termosolárních a fotovoltaických technologií. Pomocí multi-variabilní lineární regrese, která používá různé proměnlivé faktory (druh technologií, výkon, rozloha, atd.), určili investiční náklady v amerických dolarech. Použité faktory byly následující: provozní náklady a náklady na údržbu (v USD·MWh<sup>-1</sup>), druh technologie termosolárních koncentračních kolektorů (parabolické koryto, parabolický reflektor a solární věž), druh technologie fotovoltaických



panelů (poly a mono-krystalický křemík a tenké vrstvy teluridu kadmia), výkonnost v MW, kapacita skladování v MWh, rok uvedení do provozu, země, kapacitní faktor, rozloha elektrárny a radiace. Výsledek ukázal, že parabolické koryto (Parabolic trough) se 7-hodinovým skladováním je technologií s nejnižšími mezními náklady (okolo 70 USD·MWh<sup>-1</sup>). Parabolické koryto se 7-hodinovým skladováním je typ termosolární energie, který dokáže akumulovat nadbytečnou energii a pak ji využít nepřetržitě po dobu 7 hodin v případě zastavení výroby elektrárny. Nejvhodnější místo, kde instalovat parabolické koryto se 7-hodinovým skladováním je Calama (město uprostřed pouště v druhém regionu Chile). Tato varianta generuje nejvíc energie s nejnižším mezním nákladem U fotovoltaiky, technologie s tenkými vrstvami teluridu kadmia mají nejnižší investiční náklady 67 USD·MWh<sup>-1</sup>.

Zmíněná práce též zhodnotila dopad uvedení do provozu solární elektrárny v elektrickém systému SING. Použili počítačový program OSE2000&software, který vypočítává optimální budoucí výdělky různých technologií. Nejvyšší roční výdělky byly 53 milionů USD pro parabolické koryto se 7-hodinovým skladováním a 47 milionů USD pro solární věž se 7-hodinovým skladováním. Nicméně aby termosolární koncentrační technologie se staly ekonomicky uskutečnitelnými, potřebují finanční pobídky od státu.

Výsledky ukazují, že nejvýznamnějším faktorem pro vymezení investičních nákladů je celkovou kapacitou. Chile je země, kde instalování solárních termálních elektráren je nejlevnější (v porovnání s USA, Španělskem a další). V případě fotovoltaických elektráren, investiční náklady závisí hlavně na druhu technologií, kapacitě, roku uvedení do provozu a zemi, kde se provozuje (del Sol & Sauma, 2013).

Jedna z posledních prací letošního roku (Grágeda 2016) tvrdí, že chilská ekonomika založená na volném trhu nutí solární projekty, aby byly konkurenceschopné. Každý rok se zvýší počet fotovoltaických elektráren stejně jako počet smluv o nákupu elektřiny (PPA: Power purchase agreement) s těžebními společnostmi, což ukazuje konkurenceschopnost fotovoltaické technologie, která ani nepotřebuje dotace. Dlouhodobé smlouvy PPA zabrání působení kolísavosti cen ve volném trhu. Nicméně není snadné je uzavřít, kvůli složitosti vyjednávání s těžebními společnostmi (většina z nich už má uzavřenou dlouhodobou smlouvu s nějakou tepelnou elektrárnou). Důlní průmysl závisí na stálém a základním objemu výkonu energie, hlavně z elektráren založených na spalování uhlí a plynu. Spotřebuje 90 % produkce energie v SING systému, 24 hodin denně celoročně. Fotovoltaické panely (s koeficientem využití 34 %) by mohly doplnit dodávky energie

z tepelných elektráren. Elektrárny KSE (koncentrované solární energie) se skladovacím zařízením na energii, mají koeficient využití až 80 % a mohly by dodávat elektřinu 24 hodin denně většinu dnů v roce.

Například společnost těžby mědi Collahuasi (třetí největší na světě) uzavřela smlouvu s PV solární elektrárnou Pozo Almonte (25 MW), aby si rozšířila energetické portfolio a zároveň snížila svou uhlíkovou stopu ( $\text{tunCO}_2 \cdot \text{kWh}^{-1}$ ). Elektrárna Pozo Almonte by pokryla 13 % denní spotřeby energie společnosti Collahuasi.

Termální solární elektrárny dodávají teplo pro fáze extrakcí různých procesů těžby a vedle toho stabilizují náklady vytápění, které jsou proměnlivé kvůli nestabilitě cen fosilních paliv (mimořádně podle současných předpokladů, ty se ještě zvýší). Dále termální solární elektrárny sníží emise skleníkových plynů. Jedna z největších termálních solárních elektráren v Chile je Pampa Elvira Solar ze společnosti CODELCO v druhém regionu na severu. Skládá se z 2620 panelů, každý s plochou  $15 \text{ m}^2$  a celková rozloha je  $39,300 \text{ m}^2$ . Celkový roční výkon činí  $54 \text{ GWh} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Má systém akumulace energie s objemem  $4000 \text{ m}^3$ , který umožňuje zásobovat teplem o teplotě  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Elektrárna Pampa Elvira Solar nahradila 80 % spotřeby ropy pro vytápění procesu extrakce mědi, tudíž ušetří společnosti CODELCO 7 milionů USD a taky 15 tisíc tun  $\text{CO}_2$  ročně.

Udržitelnost fotovoltaických a termosolárních elektráren se stanovuje podle různých parametrů: potřebné plochy k výstavbě elektrárny, vynaložených nákladů, koeficientu využití, emisí  $\text{CO}_2$ , atd. Podle multikriteriální analýzy používající všech zmíněných faktorů, nejudržitelnější elektrárny byly Pozo Almonte (s maximálním instalovaným výkonem 25MWp) v případě fotovoltaiky a Pampa Elvira Solar v případě termosolární technologie (Grágeda, 2016).

Je zřejmé, že solární energie má skutečný, proveditelný a konkurenceschopný potenciál jak pro fotovoltaické elektrárny, tak pro termosolární elektrárny. Severní oblast Chile poskytuje ideální podmínky (rovná krajina, velký počet slunečných dní za rok, vysoká radiace a blízkost spotřebitelů energie). Průměrná radiace na severu Chile je větší, než v oblastech, kde solární elektrárny už jsou zavedené. Např. ve Španělsko, kde je elektrárna Plataforma Solar Almeria, radiace činí  $4,82 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$  za den, zatímco na poušti Atakamy je to okolo  $6 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$  za den. (Corral *et al.*, 2012). To znamená, že v Chile je možné snížit investiční náklady na solární elektrárny vzhledem k tomu, že potřebují menší plochy soustřeďujících solárních paprsků, aby produkovaly stejné množství elektrické energie (Escobar, 2015).

## 4. 2. VĚTRNÁ ENERGIE

### 4. 2. 1. CO JE VĚTRNÁ ENERGIE

Pravidelné proudění vzduchu nad moři i pevninou způsobené nerovnoměrným zahříváním vzduchu slunečním zářením a následným vyrovnáním tlaku vzduchu na různých místech.

Kinetickou energii proudění využíváme k přeměně na nějakou prakticky využitelnou formu. Za prakticky využitelné se považují větry vanoucí rychlostí od 3 do 26 m·s<sup>-1</sup>. Existují dva typy větrných motorů: motor s vertikální osou a motor s horizontální osou.

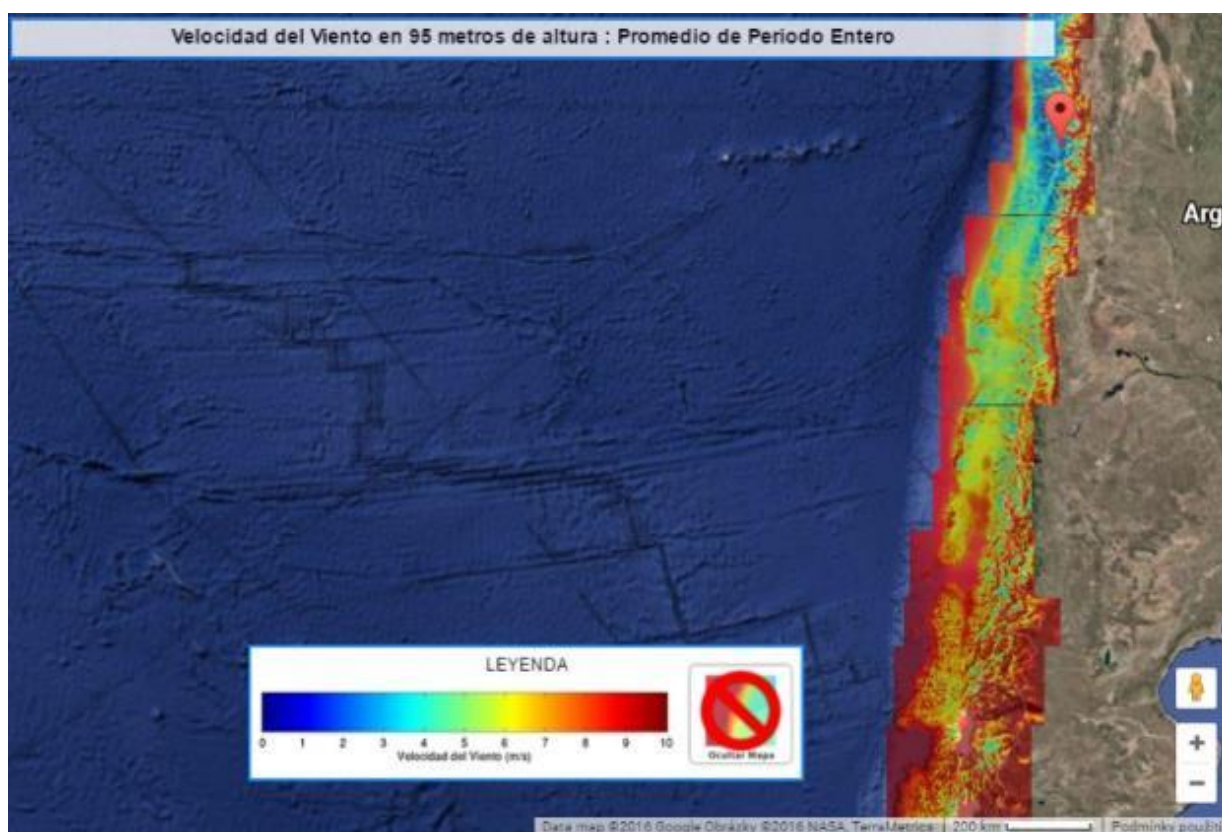
Vertikální motory se otáčejí důsledkem nesouměrnosti aerodynamických sil k rovině procházející osou motoru. Účinnost může dosáhnout až 38 %. Horizontální motory jsou mnohem rozšířenější, u nich vzniká točivý moment v důsledku využití vztlakové síly při obtékání profilu křídel proudem vzduchu. Na náběžné straně křídla dochází k zmenšení rychlosti vzdušného proudu, a tedy ke zvýšení tlaku. Na odvrácené straně, kde je větší rychlost, vzniká podtlak. V minulosti se běžně užívaly horizontální větrné mlýny k nejrůznějším účelům (čerpání vody, mletí obilí, apod.). Dneska se pomocí větrnými motory vyrábí především elektřinu. V současné době jsou nejrozšířenější elektrárny s vodorovnou osou otáčení, na vztlakovém principu, kdy vítr obtéká lopatky připomínající leteckou vrtuli. Většinou mají tři lopatky, užívají se ale i typy s jedním nebo dvěma listy.

Nevýhodou větrných elektráren je estetické narušení krajiny, značný hluk, velké počáteční investice a drahá údržba. Výhodou je nevyčerpatelnost větrného zdroje, nulové emise skleníkových plynů a menší zátěž na životní prostředí (Augusta, 2001).

### 4. 2. 2. AKTUÁLNÍ SITUACE VĚTRNÉ ENERGIE

Chile má přes 4000 km dlouhou pobřežní čáru s velkým větrným potenciálem. Ještě v roce 2011 energetická politika větrnou energii nepodporovala vzhledem k nedostatku měření a průzkumů, malé státní podpoře a nezájmu energetického průmyslu. Postupně různé instituce (Národní Energetická Komise, Chilská Univerzita, a jiné) začaly provádět několik měření na místě a vytvořily větrnou mapu „Prohlížeč větrné energie“ (Ministerstvo energie, 2010), který je vidět na obr. 7. Malý červený symbol s černou tečkou představuje Santiago, hlavní město. Průměrné rychlosti větru na volném moři činily okolo 8 – 10 m·s<sup>-1</sup>, zatímco na

pevnině průměrná rychlost větru je mezi 5 a 7 m·s<sup>-1</sup>. Místa se silnějším větrem přibývají směrem na jih. Odhadovaný potenciální výkon větrné energie činí 40 452 MW (Ministerstvo energie, 2014). Musíme si uvědomit, že zmíněný potenciál se týká chilských regionů od Ariky (na severu) k Chiloé (na desátém regionu jižní Chile) a nevzal v úvahu poslední dva jižní regiony kvůli nedostatkům měření, i když by mohly mít největší potenciál větrné energie.



**Obrázek 7:** Průměrné rychlosti větru (m·s<sup>-1</sup>) ve výšce 95 m n. m. ve střední a jižní části Chile (Ministerstvo energie, 2010).

V pobřežních zónách existuje kombinace proudění, které vane od moře a proudění vznikajícího termickými efekty. První typ proudění vzniká JV pacifickou anticyklónou. Druhý typ proudění souvisí s transverzálními údolími (kolmo k podélné ose pohoří And) a se stálým slunečním svitem. Tyhle podmínky jsou příznivé pro využívání výkonné větrné energie.

„Watts & Jara, 2011“ provedli analýzu dat z osmi měřících stanic v regionech Atakamy, Coquimbo a Maule (severní, střední a jižní Chile). Měřící stanice byly vybaveny

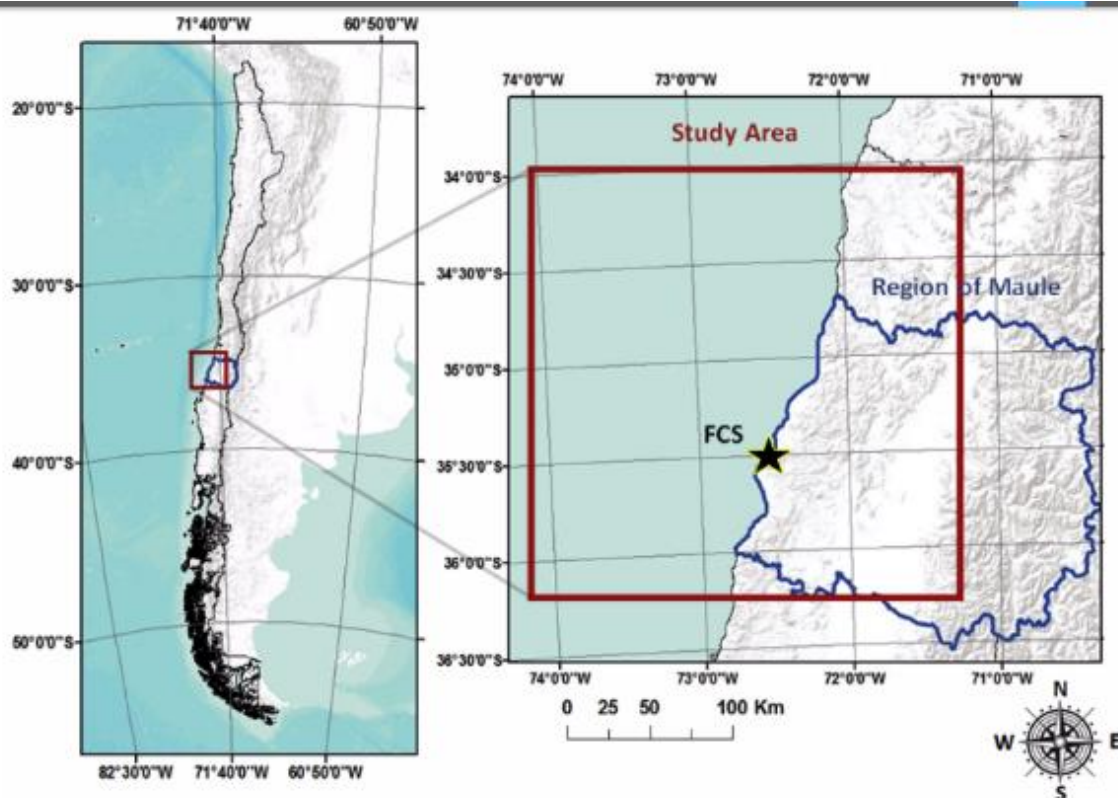
anemometry a různými měřicími zařízeními (na teplotu, vlhkost, výšku v m n. m., atd.). Období měření bylo 2006 – 2007. Z osmi měřících stanic, šest prokazuje příznivý potenciální výkon. Výsledky ukazovaly, že největší průměrné rychlosti větru ( $6-8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) byly mezi srpnem a prosincem, zatímco nejnižší ( $4-6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) kolem února. Všechny byly zaznamenány ve výšce 61,5 m n. m. V denním profilu, nejvyšší rychlosti byly odpoledne okolo 4 p. m. Minimální rychlosti byly ráno mezi sedmou a osmou hodinou ráno. Všechna měření vykazovala přednostně JZ směr. Jedna ze stanic s největším koeficientem využití (44,8 %) byla stanice „Loma del Hueso“ na severní pobřeží u města Coquimba. Podle této studie, chilská větrná energie je ekonomicky výhodnou možností, pokud bude využita jako doplněk ke konvenčním zdrojům. Technologie jsou zralé a spolehlivé, ceny v budoucnosti budou více konkurenceschopné (Watts & Jara, 2011).

#### 4. 2. 3. SOUČASNÉ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY

Dvě španělské firmy, Endesa a Enhol, vlastní projekty, které jsou dosud ve fázi konstrukce. Endesa vlastní Canelu, s výkonem 18 MW instalovaného výkonu, umístěna u pobřeží 300 km na sever od Santiaga. Je připojena do 220 kV elektrického vedení SIC systému (Watts & Jara, 2011). Rovněž v roce 2009 španělská firma Enhol začala výstavbu 500 MW větrné elektrárny na severu Chile, s 243 turbínami, každá s výkonem 2-3 MW (Renewable Energy Focus, 2009).

#### 4. 2. 4. VĚTRNÁ ENERGIE NA VOLNÉM MOŘI

Větrná energie na volném moři je v Chile nově vznikajícím zdrojem energie a ještě nevyzrálou technologií. Studie z roku 2016 odhadovala potenciální výkon větru na volném moři (asi 100 km daleko od pobřeží) pomocí modelu z WRF (Weather Research and Forecasting neboli Výzkum a předpověď počasí), který má kvalitní prostorové rozlišení. Období měření bylo mezi 1. únorem 2006 a 31. lednem 2007. Porovnali to s měřenými daty ze stanice Faro Carranza v Maule regionu (Obr. 9), která zahrnuje rychlosti a směry větru. Měření bylo provedeno v 10 min. intervalech ve výškách 20, 30 a 40 m n. m. Podle výsledků simulací a měření na pevnině, průměrné rychlosti větru na volném moři jsou skutečně větší než na pevnině (např.  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  na volném moři a  $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  na pevnině).



**Obrázek 8:** Umístění měřicí stanice Farro Carranzy v regionu Maule, Chile (Mattar & Borvarán, 2016).

Data vycházející ze simulací stanovila větrný výkon na  $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  ve výšce 140 m n. m. Pro velkou turbínu V164 s generátorem 8 MW maximálního výkonu, je odhadován koeficient využití 40 % a roční průměrnou produkci energie 30 GWh. Současné využívání větrné energie je na úrovni 1210 GWh, takže energie vyrobená běžnou turbínou V164 by představovala 2,4 % celkové energie vyrobené větrnými elektrárnami. I když je to předběžný odhad a je stále potřeba provést úplnou analýzu nákladů a cen elektřiny. Tímto způsobem bylo by možné zhodnotit ekonomickou proveditelnost využívání větrné energie na volném moři. (Mattar & Borvarán, 2016).

## 4. 3. HYDROELEKTRICKÁ ENERGIA

### 4. 3. 1. CO JE HYDROELEKTRICKÁ ENERGIE

Mechanická energie pocházející z vody. Čerpá energii z koloběhu vody na zemi a je způsobena sluneční energií a gravitačními silami Země. K využívání vodní energie se používají vodní turbíny, patřící k motorům s nejvyšší účinností (až 95 %). Můžeme rozlišit turbíny přetlakové, které dokážou využít kinetickou (danou prouděním vody) i tlakovou (danou přetlakem vody) energii vody, a turbíny rovnotlaké využívající převážně kinetickou energii.

Nejpoužívanější turbínou v Chile je Francisova turbína přetlakového typu, která je vhodná pro široké rozmezí vodního spádu (40 – 700 m) a má 90 % účinnosti. Peltonovo kolo je rovnotlakou turbínou, vhodné především pro malé průtoky a velké spády (60 až 1900 m), u kterého vodu na lopatky přivádějí trysky a jeho účinnost činí 85 %. Kaplanova turbína přetlakového typu má velmi dobrou možnost regulace náklonu lopatek u oběžného a rozváděcího kola. Může se přizpůsobit nízkým, středním a vyšším spádům. I když má vyšší účinnost než Francisova turbína, je výrazně složitější a dražší. Používá se pro spády od 1 do 70 m. Jsou i další typy turbín ale není cílem téhle práce se jimi zabývat. Vedle turbín jsou základním prvkem vodní elektrárny generátory přeměňující mechanickou energii otáčení turbín na energii elektrickou. Dalším vybavením představují přivaděči vody, česlice, lapače písku, přehrada, šachty, atd.

Můžeme rozdělit vodní elektrárny podle využití vodního toku na: Průtočné vodní elektrárny využívající přirozený průtok řeky. Při překročení průtoky je přebytečné množství vody odvedeno bez využití. Průtočné elektrárny jsou z důvodu nemožnosti regulace průtoky vody využívány pro pokrytí základního zatížení. Akumulační vodní elektrárny Akumulují vodu přehrazením řeky přehradní hrází. Akumulační elektrárny využívají řízeného odběru vody z akumulační nádrže podle potřeb elektrizační soustavy. Pokrývají polo špičkové (elektrárny s denní akumulací), či špičkové zatížení (vysokotlaké akumulační elektrárny). Mimo akumulace elektrické energie stabilizují vodní toky a chrání tak před povodněmi, též mohou být zdrojem pitné vody. Přečerpávací vodní elektrárny Slouží jako akumulátor elektrické energie z jiných zdrojů a pokrývají špičkové zatížení. Využívají dvou různě výškově položených vodních nádrží a akumulují energii v podobě potenciální energie vody,

která je čerpána do výše položené nádrže za využití přebytečné elektrické energie. Při potřebě elektrické energie naopak voda proudí skrz turbínu a generátor. V tomto případě dodává energii do elektrizační soustavy.

Výhody vodních elektráren jsou nulové emise, nezávislost na zasobování paliv, možnost akumulace potenciální energie vody v nádržích a nepříliš náročná údržba. Velké vodní stavby s sebou nesou i četná nebezpečí, neboť příliš zasahují do přirozené rovnováhy krajiny. Ať už jde o zatopení rozsáhlých oblastí či změnu vodního režimu v krajině (Augusta, 2001).

#### 4. 3. 2. HISTORIE HYDROELEKTRICKÉ ENERGIE V CHILE

Státní energetický podnik ENDESA začal stavět hydroelektrárny v 70. a 80. letech minulého století. Během tohoto období energie z hydroelektráren představovala 80 % výroby energie v Chile. V roce 1981 vojenský režim v rámci privatizace země poskytl soukromá majetková práva na využití vody elektrárenským společnostem (a to zdarma a do dneška). Začala privatizace elektrárenského sektoru a již zprivatizovaná společnost ENDESA vybudovala mnohé hydro-projekty (např. Rapel s instalovaným výkonem 350 MW). Během 90. let se celkový instalovaný výkon vodních elektráren téměř zdvojnásobil a dosáhl výkonu 5000 MW. Nicméně chilské autority musely čelit vážným environmentálním problémům. Společenské a environmentální hnutí výrazně odmítalo výstavbu nových vodních elektráren (např. vodní elektrárně Pangue a přehradě Ralco v horním toku řeky Bio Bio na jihu Chile). Odpor aktivistů byl hlavně zaměřen proti umístění velkých přehrad na domorodých pozemcích a podezřelým výsledkům procesu posuzování vlivů na životní prostředí (EIA: Environmental Impact Assessment) (Mundaca, 2013).

#### 4. 3. 3. DOPADY VELKÝCH VODNÍCH ELEKTRÁREN

Přehrady zaplavují významné území v jižních regionech Chile (stovky km<sup>2</sup> vzácných lesů mírného pásma, které jsou rovněž unikátní na celém jihoamerickém kontinentu). Nejde jen o dopady na zdejší přírodu, ale též v globálním měřítku o snižování emisí skleníkových plynů. Podle „Fearnside, 2005“ přehrady v Curua-Una, Brazílii, způsobily třikrát větší emise skleníkových plynů než emise způsobené tepelnou elektrárnou na ropu vyrábějící stejné



množství energie. Důvod je velké množství uhlíku uloženého ve stromech a vegetaci, který je po zaplavení, hnití a rozkladu uvolněn do ovzduší jako metan.

Značný dopad na patagonskou krajinu by měla výstavba velké vodní elektrárny Hydro-Aysén s potenciálním výkonem 2750 MW. Podle plánů společností Colbúnu a Endesy, stavba 5 přehrad na řekách Baker a Pascua v regionu Aysén (na jihu Chile) by produkovala energii hlavně pro těžářské společnosti na severu Chile. To by znamenalo postavit elektrické vedení stejnosměrného proudu HVDC (High Voltage Direct Current) přes vzdálenost asi 3000 km (nezapomínat, že celý projekt se nachází v seizmicky aktivní oblasti), což není nejlepší řešení chilských elektrických potřeb (Aspey, 2008).

#### 4. 3. 4. MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY

Na jihu Chile je rozsáhlá říční síť s řekami a jezery, díky čemuž malé vodní elektrárny představují nadějnou alternativu OZE. Potenciální výkon těchto zdrojů je 850 MW z více jak 290 říčních útvarů (Renewable Energy Focus, 2009), a mohly by zásobovat obyvatelstvo na střední a jižní části Chile.

Výhody malých vodních elektráren jsou především: nízké provozní náklady a náklady na údržbu, vysoká účinnost (70 – 90 %), dobrá prognóza (závisí na ročních srážkových úhrnech), nízká variabilita, menší dopad na životní prostředí než velké vodní elektrárny a dobrá zkušenost v Chile s používanými technologiemi. Nevýhody by byly spojené s častějšími obdobími sucha jak na severu, tak na jihu Chile.

Aby investoři mohli předpovídat náklady a konečnou cenu energie, musejí brát v úvahu geologické a hydrologické faktory, infrastrukturu, vzdálenost od hlavních rozvodných sítí, přístupové cesty, atd. Největší vliv na konečnou cenu má průtok vody ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) a spád (m). Pravidlem je, že ekonomičtější možností bude ta, která má vyšší spád (i když projektovaný průtok bude menší). Podle odhadů, konečné náklady by mohly být mezi 1500 USD a 2500 USD za instalovaného kW výkonu elektrárny. Příklad malé vodní elektrárny v Chile je MVE Puntilla na řece Maipa (ve střední části Chile, kolem 57 km od Santiaga), s výkonem 8,5 MW a s Francisovými turbínami (González Salas, 2008).

## 4. 4. ENERGIE Z VODNÍCH MAS

### 4. 4. 1. CO JE ENERGIE Z VODNÍCH MAS

Je to mechanická energie skrytá ve vodách moří ve formě mořských proudů, vlnění a slapových jevů. Vlivem tvaru chilského pobřeží, technologie využívající změn hladiny moře přílivem a odlivem nejsou příliš vhodné. Nicméně energie mořského vlnění je nesmírná. Může se využít pomocí bójí zakotvených do mořského dna, u kterých výkyvy plováku vůči závaží jsou převáděny na rotační pohyb rotoru generátoru, který vyrábí elektrickou energii. Druhou možnost představuje vodní píst, u kterého válec nahrazuje betonová stavba při pobřeží, ve které kolísá hladina podle průběhu vln. Nahoře je uzavřena pilíř umožňující pouze přívod vzduchu na plynovou turbínu, která se otáčí ve stále stejném směru. Třetí možnost jsou velké turbíny ukotveny v hloubce mezi 30 a 130 m pod hladinou, pohybující se mořským proudem (Augusta, 2001).

### 4. 4. 2. SITUACE V CHILE

Různé studie demonstrují, že v Chile by energie z vodních mas mohla být významnou alternativou OZE díky své geografické dostupnosti a intenzivnímu vlnění oceánu. S více jak 4000 km pobřeží, v Chile byl vyhodnocen potenciální výkon 169 GW použitím všesměrových odhadů energie, nebo 240 GW pomocí výsledků WAVEWATCH III® (Cruz et al., 2009). Některé oblasti u břehů Chile byly potvrzeny jako „hot spot“ vlnové energie s potenciálním výkonem  $4\text{--}5 \text{ MW} \cdot \text{rok}^{-1}$  (Gunn & Stock-Williams, 2012).

Číselné modely byly provedeny k hodnocení potenciálu energie z vodních mas mezi roky 2009 a 2010. U pobřeží Valparaísa (střední část Chile) byly uskutečněny simulace toků vlnové energie, pomocí spektrální analýzy vln, modelu WAVEWATCH III® s největším prostorovým rozlišení. Též byly použity měřicí bóje z chilské organizace SHOA (Hydrografický a Oceánografický Námořní Servis), které měřily výšky vln, dobu hřebenového vlnobití, směr a rychlost větru. Bóje zaznamenaly především JZ směr vlnění a výšky vln pod 3,34 m (90 %), zatímco nad 4 m bylo minimálně (2 %). Průměrný roční výkon energie činil  $40 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-1}$ .

Výsledky ukazují, že energie z vodních mas je dobře využitelná. Dle názoru Mediavilly a Sepúlvedy mohla by být využitelná pro malé populace obyvatel ve vzdálených oblastech, jako jsou fjordy v jižním Chile. I když víme, že některá místa jsou optimální pro zavedení využití energie z vodních mas, není to dostačující informace. Musí být uskutečněna konkrétní studia (hloubkové vyměřovací, mapování mořského dna, atd.) pro zjištění nákladů rozmístění, udržování, přenosu energie k odběratelům, dostupnosti přístavů a silnic, apod. (Mediavilla & Sepúlveda, 2016).

## 4. 5. GEOTERMÁLNÍ ENERGIE

### 4. 5. 1. CO JE GEOTERMÁLNÍ ENERGIE

Přírodní zemské teplo, které se dá využít na místech, kde geologickými formacemi prostupuje z hlubin k povrchu. Teplo je vytěžené z geotermálních rezervoárů pomocí hloubkových vrtů, následně vyprodukovaná pára pohání turbíny pro získání elektřiny.

V Chile, podél hlavních tektonických desek se vyskytují zemětřesení a sopky. Geotermický gradient ( $30\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{km}^{-1}$  hloubky) překračuje průměr ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{km}^{-1}$  hloubky). V takovém geodynamickém prostředí mohou se rozvíjet geotermální technologie v nevelkých hloubkách (do 3 km), což umožňuje využít těchto zdrojů za ekonomicky schůdných podmínek (Sanchez-Alfaro, 2015).

Geotermální elektrárny na suchou páru (*Dry Steam*): používají se v místech, kde lze z nevelkých hloubek pomocí navrtaných sond a sběrného potrubí odvádět páru pod přirozeným tlakem až 10 MPa s teplotou 200 až 250  $^{\circ}\text{C}$ . V separátoru se pára vede přímo do turbín. Sráží se v kondenzátoru a vzhledem k své čistotě se může vracet jinými vrty do propustné horniny zpět do blízkosti magmatického pole.

Geotermální elektrárny na mokrou páru: se užívají v lokalitách, kde lze navrtáním získat vydatné zdroje horké vody s teplotou od 180 do 380  $^{\circ}\text{C}$ . V odtlakovací nádrži se po snížení tlaku část vody změní v páru, využitou k pohonu turbín. V případě příliš nízkého tlaku a teploty je horká voda v tzv. binárním systému (*Binary Cycle*) využita k ohřátí jiné pracovní kapaliny s nižším bodem varu (propanu, izobutanu, atd.).

Geotermální vytápění přímo vyvěrající horkou vodou nebo otopnými systémy se zařazenými výměníky tepla je hodně využíváno na Islandu. K čerpání tepla se též využívají tepelná čerpadla (Augusta, 2001).

Geotermální zdroje energie jsou lákavé, protože geotermální elektrárny mají vysoký koeficient využití (0,8 – 0,95), nízké provozní náklady a relativně nízkou SCE (sdruženou cenou energie), dodávání energie pro stálé zatížení, nízké emise skleníkových plynů, omezené environmentální dopady. Negativa jsou vysoké počáteční náklady a investiční riziko v předběžných průzkumech a ve vývojových fázích, taky že konkurenční ceny jsou dosaženy v podmínkách příznivého energetického politického rámce (Sanchez-Alfaro, 2015).

#### 4. 5. 2. STAV GEOTERMÁLNÍ ENERGIE V CHILE

Chilská pevnina se rozprostírá podél západní strany horských pásů And, kde se nachází 95 aktivních sopek a stovky povrchových geotermálních jevů (gejzíry, horké prameny, parní výrony, atd.). Poslední studie ukázaly, že geotermální zdroje v Chile jsou ekonomicky využitelné a mají potenciální výkon 3350 MW (Lahsen *et al.*, 2010).

Ačkoliv Chile disponuje značným množstvím geotermálních zdrojů identifikovaných již od roku 1920, žádná geotermální elektrárna nebyla ještě vybudována.

#### 4. 5. 3. HISTORIE CHILSKÉ GEOTERMÁLNÍ ENERGIE

V roce 1908 italští kolonisté provedli první geotermální výzkumný program v El Tatio v severní poušti Atakamě. Nicméně, nedostatek ekonomických stimulů a špatné technické vybavení způsobily úplné zastavení výzkumu. Až v roce 2000 chilská vláda schválila Geotermální zákon č. 19 657, který stanovil vhodný rámec pro soukromé a státní podniky umožňující rozvoj geotermálních projektů. Průzkumy hlubokými vrty potvrdily výskyt vhodných zdrojů v Tolhuace (620 km jižně od Santiaga) a Apachetě (na severu Chile), které ještě čekají na finanční podporu před dalším vývojem v terénu a výstavbou elektrárny. Geotermální elektrárna Tolhuaca je v procesu hodnocení, přičemž předpokládaný výkon činí 70 MW. Jediný projekt, který je v pokročilejším stadiu je Cerro Pabellón (Pampa Apacheta), kde společnosti ENEL a ENAP zveřejnily plány v červnu 2015 na výstavbu elektrárny s maximálním výkonem 48 MW (Sanchez-Alfaro, 2015).

#### 4. 5. 4. PROBLÉMY SE ZAVEDENÍM GEOTERMÁLNÍ ENERGIE

Výzkumné aktivity zahrnují geologické, geofyzikální a geochemické průzkumy, vulkanologické studie a vrtání průzkumných vrtů, aby byla potvrzena přítomnost geotermálního energetického potenciálu. Geotermální prozkoumání je vnímáno jako finančně nejriskantnější aktivita celého procesu. Navíc chilské geotermální zdroje jsou odlehle a ve vyšších nadmořských výškách. Z tohoto důvodu vrtací náklady a průzkumné práce jsou dvakrát dražší než mezinárodní průměr. Též musíme brát v úvahu, že v Chile

existují pouze dvě firmy poskytující potřebné vrtací vybavení, které si účtují vysoké ceny za své poskytované služby.

Náklady zavedení geotermální energie se liší v různých částech světa podle různých parametrů: teploty u zdrojů, tlaku, hloubky rezervoáru, propustnosti, polohy, vrtacího trhu, velikost zástavby a typu technologie (na suchou páru, bleskový okruh nebo binární okruh). Náklady spojené s geotermálním průzkumem jsou v Chile vyšší než v jiných zemích, a proto navzdory životaschopnosti zdrojů na chilském území, zavedení geotermálních elektráren je ještě drahé a riskantní. Málo investorů je ochotné přijmout rizika na takovém neověřeném prostředí a mají potřebu žádat daňové podpory. Nicméně chilská vláda zatím nenabízí finanční pobídky.

Další problém je posuzování vlivů na životní prostředí. Posudky vlivů nejsou jednotné a způsobují zpoždění projektů. Ti, kteří vyhodnocují projekty, nejsou odborníci v geotermálních otázkách. Posuzování vlivů je prováděno pouze pro fázi využívání geotermálního zdroje a nebere v úvahu možnosti dopadů při průzkumné fázi. Všechna rizika padají na investory (vysoké náklady průzkumů a žádná záruka proveditelnosti projektu, nebo záruka, že tam vůbec budou ty zdroje). Možných řešení těchto problémů je dost: státní příspěvek v průzkumné fázi v případě neúspěšného vrtání, daňové úlevy pro geotermální elektrárny, spolupráce elektrárenského průmyslu a akademických institucí v oblasti výzkumu, apod.

Hlavní překážkou využívání geotermálního potenciálu je neexistence středně nebo dlouhodobé energetické politiky a nedostatek vládních finančních pobídek, aby energetické společnosti mohly překonat finanční rizika spojená s realizací geotermálních elektráren. Jiné země, které již úspěšně využívají geotermální zdroje, obvykle mají jasnou a soudržnou energetickou politiku, koncipovanou tak, aby podporovala využití geotermálních možností. Typické příklady jsou Nový Zéland, Spojené Státy, Filipíny a Island. Všechny mají aspoň nějaké shodné prvky politiky: aktivní účast státu v identifikaci a objevení nových ekonomicky životaschopných geotermálních zdrojů, což pomáhá snížit finanční rizika pro potenciální vývojáře. Zároveň zavedly celostátní energetický politický rámec, jenž zahrnuje hospodářské faktory, regulace, tržní ulehčení a více podpory do výzkumu a vývoje (Sanchez-Alfaro, 2015).

#### 4. 5. 5. CO ŘÍKAJÍ STUDIE

Podle SCE, byla odhadnuta cena elektřiny z geotermálních zdrojů  $\text{US\$ } 94.91 \cdot \text{MWh}^{-1}$  bez státních příspěvků, a  $\text{US\$ } 84.91 \cdot \text{MWh}^{-1}$  se státními příspěvky. Tato cena je blízko konkurenceschopnosti v porovnání s průměrnou cenou  $\text{US\$ } 82.6 \cdot \text{MWh}^{-1}$ . Vládní politiky mají značný vliv na snížení SCE.

Chile má nediferencovanou a nezajištěnou elektrickou soustavu, která též má velká rizika růstu cen elektřiny (kvůli závislosti na dovozech fosilních paliv ze zahraničí a možnost suchých období v případě hydroelektráren). Geotermální energie může přispět k vývoji stabilní a trvale udržitelné elektrické soustavy. Ale aby se tato energie začala prosazovat, je potřeba vytvořit jasný politický rámec na podporu vývoje geotermální energie (Sanchez-Alfaro, 2015).

## 4. 6. BIOMASA

### 4. 6. 1. CO JE BIOMASA

Je živá hmota, která vzniká přímo nebo nepřímo působením sluneční energie při fotosyntéze. Biomasy představují dřeva stromů, nejružnější trávy, obilniny, plodiny a vodní rostliny. Pod aktuální využití biomasy zahrnujeme i využití některého průmyslového odpadu živého původu, např. chlévské mrvy a kejdy (které se dají přeměnit v bioplyn nebo kapalná biopaliva) i komunálního odpadu (kaly z čistíren, bioplyn z řízených skládek odpadu, atd.).

Využití biomasy je rozdělen do dvou skupin podle toho, zda jde o biomasu suchou nebo mokrou. Od toho se odvíjejí dva základní způsoby využití: termochemické procesy (spalování nebo zplyňování) a biochemické přeměny (fermentace a anaerobní vyhnívání).

Energetické využití biomasy má ve srovnání se spalováním fosilních paliv ekologický přínos zejména ve snižování emisí  $\text{SO}_2$  a nezvyšování obsahu  $\text{CO}_2$  (odpovídající množství  $\text{CO}_2$  totiž rostliny spotřebují při svém růstu). Též výhodou je, že biomasa představuje domácí zdroj a že nepřetržitě generuje energii. Nevýhodou je nízká účinnost přeměny slunečního záření na energii (méně než 1 % celkového dopadajícího slunečního záření je využito spalováním biomasy) (Augusta, 2001).

### 4. 6. 2. SOUČASNÁ SITUACE V CHILE

Odpady vznikající dřevařství a ze zemědělství by mohly být účinným zdrojem energie pro jižní Chile. Podle Technické Univerzity Federico Santa María potenciální výkony (ještě nevyužitých) různých typů biomasy jsou v tab. 2.

TYP BIOMASY	PŘEDPOKLÁDANÝ VÝKON (MW)
Bioplyn	3066,5
Zbytky z obilnin	440
Lesní zbytky	1081
Z domácích lesů	3542
Jiné biomasy	2081
<b>Celkem</b>	<b>10211</b>

**Tabulka 2:** Předpokládaný výkon různých typů biomasy v Chile (Tech. U. Federico St. María, 2008).



V období 2006 – 2007 energie z biomasy představovala 50 % spotřebované energie v domácnostech a v obchodních sektorech. (CNE, 2008). V současné době biomasu (ve formě zbytků celulózy, slupek, a jiné) používají kogenerační elektrárny (společná výroba elektrické energie a tepla). Jejich celkový instalovaný výkon je 322 MW. Bioplyn je získáván ze skládek, potom je zpracován na využitelnější plyn pro obchodní sektor a pro domácnosti (Ministerstvo Energie, 2016).

#### 4. 6. 3. PROBLÉMY ZPŮSOBENÉ SPALOVÁNÍM BIOMASY

Vysoká míra odlesnění (roční míra úbytku lesů činí 4,5 %) a neudržitelné využití biomasy zřejmě přispívají k vyšším emisím CO<sub>2</sub> (Mundaca, 2013). Znečištění ovzduší ze spalování dříví je vážným problémem na jihu Chile. V jižních oblastech je spotřeba palivového dříví doposud hlavním znečišťovatelem a tvůrcem poléťavého prachu PM<sub>2,5</sub> (Ministerstvo životního prostředí, 2013). Průmyslové využití palivového dříví je více soustředěno v centrální části Chile, kde je průmyslová aktivita silnější, zatímco spotřeba palivového dříví v domácnostech je spíše v jižním Chile v důsledku studenějšího počasí. Vzhledem k dopadům na zdraví, dlouhodobé strategie by mohly přejít na technologie používajících lesní biomasu ve formě granulí, nebo modernější spalovací technologie minimalizující emise a zároveň s výkonnějším využitím biomasy (Reyes et al., 2015).

## 5. POROVNÁNÍ CHILE S OSTATNÍMI STÁTY JIŽNÍ AMERIKY

Co se týká celkové spotřeby energie, Chile nemá tak velkou spotřebu jako Brazílie, Argentina a Venezuela. Podle statistického vyhodnocení (BP, 2015) Brazílie spotřebovala 296 milionů TOE energie (tonnes of oil equivalent neboli tun ekvivalentu ropy) v roce 2014, zatímco Chile spotřebovalo 35 milionů TOE energie. Když to převedeme na spotřebu energie na obyvatel příslušného státu, tak se situace vysoce změní. Největším spotřebitelem energie se stává Venezuela (2,67 TOE na obyvatele), následuje Argentina (1,96 TOE na obyvatele) a Chile (1,93 TOE na obyvatele). Podobně je to s výrobou elektřiny: největší výrobu elektřiny měla samozřejmě Brazílie (582,6 TWh), kdežto Chile vyrobilo 74,9 TWh. Když to převedeme na výrobu elektřiny na obyvatele, největším výrobcem elektřiny se stává Venezuela (4,02 MWh na obyvatele) a druhým je Chile s 4,13 MWh na obyvatele.

Brazílie byla největším spotřebitelem ropy (142 milionů tun). Největším spotřebitelem ropy na obyvatele byla Venezuela (1,22 tun ropy/obyv.) a pak Chile (0,92 tun ropy/obyv.). Zatímco Peru mělo spotřebu ropy nula. Největším spotřebitelem uhlí na 1000 obyvatel bylo Chile (373,1 TOE/1000 obyv.), pak Kolumbie (87,2 TOE/1000 obyv.) a třetím byla Brazílie (72,8 TOE/1000 obyv.). Argentina nejvíc spotřebovala zemní plyn (42,4 milionů TOE), v případě spotřeby na 1000 obyvatel největším spotřebitelem zemního plynu byla zase Argentina (967,8 TOE/1000obyv.), následovaly Venezuela (850,7 TOE/1000obyv.) a Chile (237,3 TOE/1000 obyv.).

Stát, který nejvíc emitoval CO<sub>2</sub> v roce 2014 byla Brazílie (581,7 milionů tun CO<sub>2</sub>), zatímco emise Chile byly 88 milionů tun CO<sub>2</sub>. Podle vypuštěných emisí CO<sub>2</sub> na obyvatele nejvíc emitovala Venezuela (5,8 tun CO<sub>2</sub>/obyv.), pak Chile (4,9 tun CO<sub>2</sub>/obyv.) a třetí byla Argentina (4,5 tun CO<sub>2</sub>/obyv.).

Brazílie nejvíc využila vodní energii (83,6 milionů TOE) a pak Venezuela (18,7 milionů TOE). Když převedeme spotřebu vodní energie tentokrát na plochu, tak nejvíc spotřebovala Venezuela (21 TOE·km<sup>-2</sup>). Chile bylo páté (po Brazílii, Ekvádoru a Kolumbii) se spotřebou 7 TOE·km<sup>-2</sup> vodní energie. Co se týče využití OZE celkově (solární, větrná, geotermální energie a z biomasy), nejvíce využil energii z OZE Brazílie (15,4 milionů TOE) a následovalo Chile (1,9 milionů TOE). Podle celkové plochy Chile nejvíc využilo OZE (2,52 TOE·km<sup>-2</sup>) a druhá byla Brazílie (1,82 TOE·km<sup>-2</sup>). Venezuela vůbec nevyužila žádné obnovitelné zdroje k výrobě energie (BP, 2015).

## 6. ZÁVĚR

Chilský energetický systém je všeobecně založen na získání energie z tepelných a vodních elektráren. Fosilní paliva představují 58 % (18 % topného oleje, 19 % zemního plynu a 21 % uhlí) a vodní elektrárny 31,2 % celkové instalovaného výkonu. Tímto způsobem Chile závisí na dovozech fosilních paliv ze zahraničí a na vhodných vodních poměrech. Takový systém je velice zranitelný vůči kolísavosti cen světových fosilních paliv a častějším obdobím sucha.

Celková spotřeba elektřiny v Chile je 68 866 GWh (Ministerstvo těžby, 2015). Předpokládá se, že tato spotřeba vyroste o 5,5 % - 6,5 % ročně za období 2008-2025 (CNE, 2016). Aby se chilská společnost mohla vypořádat s rostoucí spotřebou energie, musí zajistit dostatečné množství různorodých zdrojů energie. Různí investoři a podnikatelé začínají projevít zájem o zavedení technologií na využití obnovitelných zdrojů energie. Zákon č. 20 698 z roku 2013, o minimální podíl 20 % vyrobené energie z OZE do roku 2020, též tomu podporoval. Všeobecné výhody OZE jsou: nižší nebo nulové emise skleníkových plynů, sníží závislost na zahraničních dodávkách, menší zranitelnost tržních cen energie, představují (alespoň v chilských podmínkách) konkurenceschopnou nabídku elektřiny a tím podporují celkové snížení cen v elektrickém systému. Kromě toho přispívají k větší stálosti rozvodné sítě díky větší různorodosti zdrojů energie.

Solární energie může zásobovat těžbařské společnosti na severu Chile (které jsou zároveň největšími spotřebiteli energie). Větrné zdroje energie se vyskytují po celé pobřeží země, průměrné rychlosti větru se zvýší od severu k jihu. Malé vodní elektrárny (s instalovaným výkonem 20 MW nebo méně) mohly by zásobovat obyvatelstvo na střední a jižní části Chile. Energie z vodních mas se vyskytuje po celé délce chilského pobřeží. Aby geotermální energie mohla být spolehlivě využívána, je potřeba finanční podpora od státu na průzkumné práce. K podpoře využití energie z biomasy je nutno zavést lepší a účinnější technologie na spalování biomasy, produkci bioplynu, využití skládkových plynů, apod.

Celkový využitelný energetický potenciál zdrojů OZE v Chile je 2 431 512 MW neboli cca 2431 GW [ $2431,5 \cdot 8760$  (počet hodin v roce) = 21 299 940 GWh]. Takové množství energie je více jak 300x větší než současná spotřeba energie Chile. Samozřejmě, musíme to brát s jistou rezervou. Jedná se o teoretickou hodnotu a je potřeba ještě počítat s náklady na potřebné nové infrastruktury, náklady na provoz technologií, náklady přenosových a

distribučních soustav, možnými geografickými nedostupnostmi zdrojů, atd. Nicméně je podstatné, že potenciál obnovitelných zdrojů energie v chilských podmínkách je značný a mohl by pokrýt velkou část spotřebované energie. Hodně to záleží na politických rozhodnutích, štedrosti dotační politiky státu, zájmu investorů, vzájemné vědecké spolupráci vědeckých týmů a průmyslu, atd.

Pokud též budou zavedené opatření k energetické účinnosti v domácnostech (tepelné izolace, úspornější elektrické spotřebiče a žárovky, atd.), v průmyslovém sektoru (zavedení nových účinnějších technologií), v dopravě a v obchodním sektoru (např. účinnější klimatizace), potenciální úspora energie jenom pro centrální SIC systém by mohla činit až 12 000 GWh v roce 2025, podle nejkonzervativnějších odhadů (Chilská Univerzita, 2008).

Obnovitelné zdroje energie nemohou při současných chilských ekonomických, politických a technologických podmínkách plně nahradit klasické zdroje, ale mohou být plnohodnotnou součástí energetického mixu. Podle mého názoru, měli by vybudovat dostatečný počet malých lokálních a decentralizovaných elektráren (využívajících samozřejmě OZE) aby optimálně využili přírodní podmínky v konkrétních lokalitách. Například k zásobování spotřeby energie v centrální části Chile by mohli pokračovat v zavedení malých vodních elektráren, s kterými Chilani mají už dlouhodobou zkušenost.

## 7. LITERATURA

- Aspey, P. & Vinko, S. M. (2008): Expedition proposal to the Atacama desert, Chile. Dostupné z: <http://goo.gl/79z5vd>.
- Augusta, Pavel. (ed.). *Velká kniha o energii*. Praha: L. A. Consulting Agency, 2001. ISBN 80-238-6578-1.
- BP (British Petroleum), (2015): *Statistické vyhodnocení světové energie 2015*. Dostupné z: <http://goo.gl/TPYPKP>.
- Chilská Univerzita, (2008): Estimación preliminar del potencial de la eficiencia en el uso de la energía eléctrica al abastecimiento del sistema interconectado central (Předběžné hodnocení potenciální účinnosti elektrického systému zásobující SIC). Závěrečná zpráva programu energetických studií. Institut veřejných věcí Chilské Univerzity, 2. června 2008. Dostupné z: <http://goo.gl/BLS1AG>.
- Chilská Univerzita, (2016): *Oblastní prezentace Chile*. Dostupné v březnu 2016 z: <http://goo.gl/Ogzjtm>.
- CNE (Národní Energetická Komise), (2008): *Política enegética, Nuevos Lineamientos* (Energetická politika, Nové směrnice). Chilská vláda. Dostupné z: <http://goo.gl/vfj0XK>.
- CNE, (2016): *Národní program otevřené energie*. Dostupné z: <http://goo.gl/iq3FxB>.
- Corral, N. *et al.*, (2012): Power, placement and and LEC evaluation to install CSP plants in northern Chile. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, iss. 9, s. 6678 – 6685.
- Cruz, J., Thomson, M. D. & Stavroulia, E. (2009): Preliminary site selection – Chilean marine energy resources. *Garrad Hassan*. Dostupné z: <http://goo.gl/PHqlYe>.
- del Sol, Felipe & Sauma, Enzo. (2013): Economic impacts of installing solar power plants in Chile. *Renawable and Sustainable Energy Reviews* 19, s. 489 – 498.
- Escobar, R. *et al.* (2015): Estimating the potential for solar energy utilization in Chile by satellite-derived data and ground station measurements. *Solar Energy* 121, s. 139 – 151.
- Fearnside, P. (2005): Do hydroelectric dams mitigate global warming? The case of Brasil's Curúa-Una dam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 10, s. 675 – 691.
- GENI (Global Energy Network Institute), (2011): *Renewable Energy Potential of Chile*. Dostupné z: <http://goo.gl/mjgS5g>.

- González Salas, M., (2008): *Fundamentos de centrales hidroeléctricas pequeñas y sus obras anexas* (Podstaty malých vodních elektráren a jejich přidružených díl), Program chilské vlády, červen 2008. Dostupné z: <http://goo.gl/97M49F>.
- Grágeda, M. *et al.* (2016): Review and multi-criteria assessment of solar energy projects in Chile. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 59, s. 583 – 596.
- Gunn, K. & Stock-Williams, C. (2012): Quantifying the global wave power resource. *Renewable Energy* 44, s. 296 – 304.
- Hanel, Matías & Escobar, Rodrigo. (2013): Influence of solar energy resource assessment uncertainty in the levelized electricity cost of concentrated solar power plants in Chile. *Renewable Energy* 49, s. 96 – 100.
- IEA (International Energy Agency), (2009): *Chile. Energy Policy Review 2009*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development. Dostupné z: <https://goo.gl/zN2Ive>
- Lahsen, A., Muñoz, N. & Parada, M. A., (2010): Geothermal Development in Chile. Proceedings of the World Geothermal Congress. Bali, Indonesia, 25 – 29. dubna, 2010. Dostupné z: <http://goo.gl/6rPb2i>.
- Larraín, T., Escobar, R. & Vergara, J. (2010): Performance model to assist solar thermal power plant siting in northern Chile based on backup fuel consumption. *Renewable Energy* 35, s. 1632 – 1643.
- Mattar, C. & Borvarán, D. (2016): Offshore wind power simulation by using WRF in the central coast of Chile. *Renewable Energy* 94, s. 22 – 31.
- Mediavilla, D. G. & Sepúlveda, H. H. (2016): Nearshore assessment of wave energy resources in central Chile (2009 – 2010). *Renewable Energy* 90, s. 136 – 144.
- Ministerstvo energie, (2010): *Explorador de energía eólica* (Prohlížeč větrné energie). Model vytvořen ve spolupráci s katedrou Geofyziky Chilské Univerzity a GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit). Dostupné z: <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/>.
- Ministerstvo energie, (2014): *Obnovitelné energie v Chile – Větrný, solární a hydroelektrický potenciál od Ariký do Chiloé*. Ve spolupráci s GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit) a MINENERGIA. Santiago de Chile, 2014. ISBN: 978-956-8066-15-4. Dostupné z: <http://goo.gl/btPJtt>.
- Ministerstvo energie, (2016): *Obnovitelné zdroje energie, Biomasa*. Informační deska. Dostupné z: <http://goo.gl/e9mMGE>.

- Ministerstvo těžby, (2015): *Proyección del consumo de electricidad en la minería del cobre 2015 – 2026* (Plánovaná spotřeba energie těžbou mědi za období 2015 – 2016). Dostupné z: <http://goo.gl/z2P95Q>.
- Ministerstvo životního prostředí, (2013): *Contaminación del Aire* (Znečištění ovzduší). Dostupné z: <http://goo.gl/TgSqG4>.
- Mundaca, Luis. (2013): Climate change and energy policy in Chile: Up in smoke? *Energy Policy* 52, s. 235 – 248.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development, Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj), (2013): *Chile, inventario sobre el apoyo presupuestario estimado y el gasto fiscal relativo a los combustibles fósiles* (Soupis odhadovaných rozpočtových podpor a daňových nákladů týkajících se fosilních paliv). Program Better Policies for better lives, 2013. Dostupné z: <http://goo.gl/jYVBGR>.
- Ortega, A *et al.*, (2010): The state of solar energy resource assessment in Chile. *Renewable Energy* 35, s. 2514 - 2524.
- Renewable Energy Focus, (2009): *Chile to warm up its renewable market*. Fórum ledna/února 2009. Dostupné z: <https://goo.gl/foLjzg>.
- Reyes, R. *et al.*, (2015): The firewood dilemma: Human health in a broader context of well-being in Chile. *Energy for Sustainable Development* 28, s. 75 – 87.
- Sanchez-Alfaro, P. *et al.* (2015): Geothermal barriers, policies and economics in Chile – Lessons for the Andes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 51, s. 1390 – 1401.
- SolarGis, (2016): Světová mapa GeoModel Solar Data s ročním úhrnem radiací. Dostupné z: <http://goo.gl/Xovuul>
- Technická Univerzita Federico Santa María, (2008): *Studie přínosů OZE, Potenciál Biomasy v Chile*. 29. července 2008. Dostupné z: <http://goo.gl/I1zDSO>.
- Valencia, M. Leonardo (2008): New scenario of the non-conventional renewable energies on Chile after the incentives created on the „Short Law I“. *Renewable Energy* 33, s. 1429 – 1434.
- Watts, D. & Jara, D. (2011): Statistical analysis of wind energy in Chile. *Renewable Energy* 36, s. 1603 – 1613.

## 8. PŘÍLOHY

**PŘÍLOHA 1:** Přehled vodních elektráren v Chile a jejich instalované výkony

DÍLČÍ SYSTÉM	JMÉNO ELEKTRÁRNY		REGION	DRUH	INSTALOVANÝ VÝKON MW
SING	Malé průtočné vodní elektrárny Celkem				6,3
SIC	Colbún	Maule	Akumulační	474,00	
	Machicura	Maule	Akumulační	95,00	
	Canutillar	De los Lagos	Akumulační	172,00	
	Angostura U1	Del Biobio	Akumulační	138,58	
	Angostura U2	Del Biobio	Akumulační	138,58	
	Pehuenche	Maule	Akumulační	570,00	
	Cipreses	Maule	Akumulační	106,00	
	Rapel	Gral. Bdo O'higgins	Akumulační	378,00	
	El Toro	Del Biobio	Akumulační	450,00	
	Antuco	Del Biobio	Akumulační	320,00	
	Pangue	Del Biobio	Akumulační	467,00	
	Ralco	Del Biobio	Akumulační	690,00	
	Alfalfal	Metropolitana	Průtočná	178,00	
	Rucúe	Del Biobio	Průtočná	178,40	
	Peuchén	Del Biobio	Průtočná	85,00	
	Curillinque	Maule	Průtočná	92,00	
	Sauzal	Gral. Bdo O'higgins	Průtočná	76,80	
	El Paso	Gral. Bdo O'higgins	Průtočná	60,45	
	La Confluencia	Gral. Bdo O'higgins	Průtočná	163,20	
	La Higuera	Gral. Bdo O'higgins	Průtočná	155,00	
	Chacayes	Gral. Bdo O'higgins	Průtočná	112,00	
	Hornitos	Valparaíso	Průtočná	61,00	
	Další elektrárny s ins. výkonem < 50 MW				939,39
	Malé průtočné vodní elektrárny Celkem				352,70
AYSÉN	Malé průtočné vodní elektrárny Celkem				22,6
MAGALLANES	Žádné vodní elektrárny				0,00
CELKEM V CHILE					6482,00



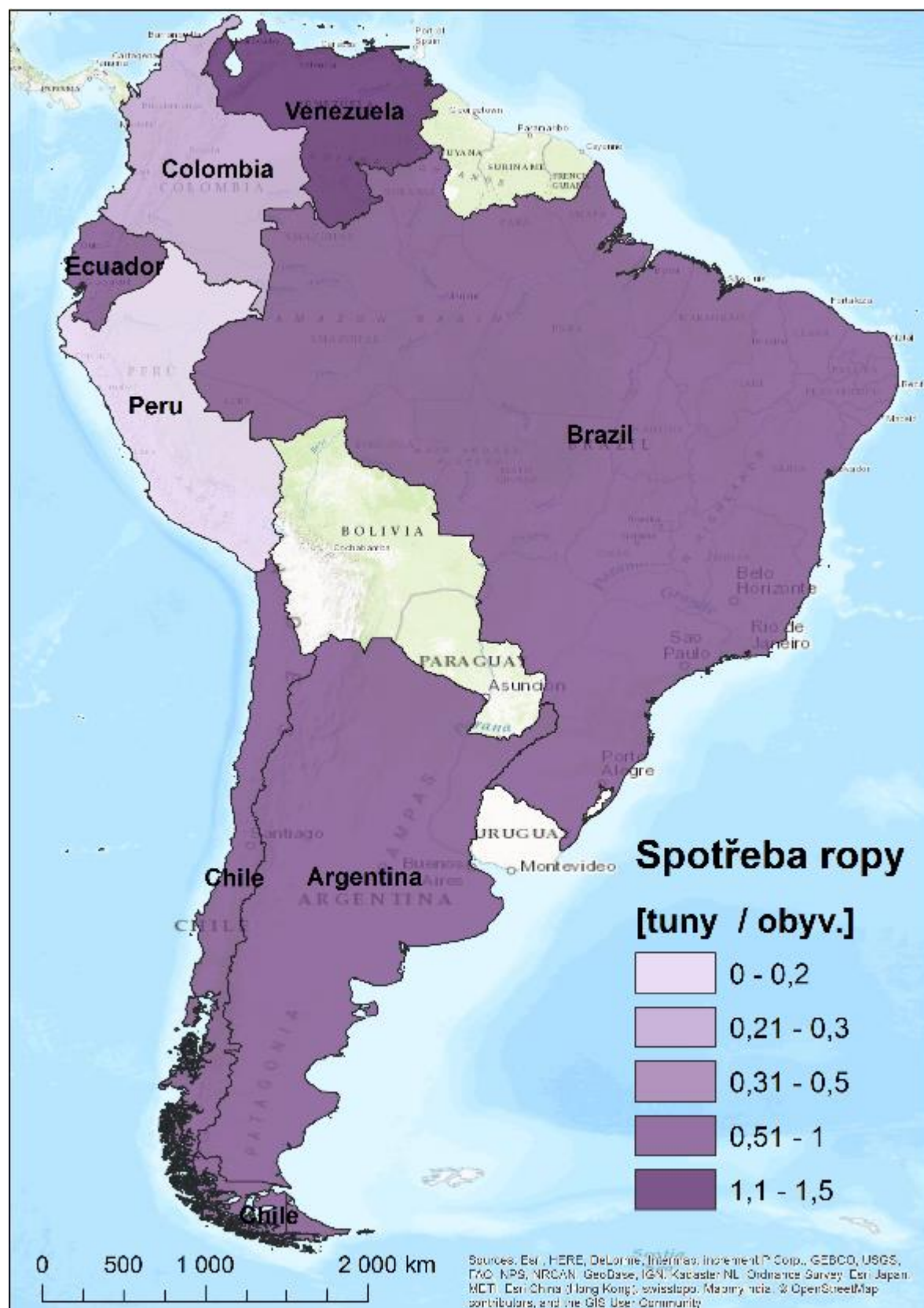
**PŘÍLOHA 2: Primární spotřeba energie jihoamerických států v roce 2014**  
[TOE/obyv.]



**PŘÍLOHA 3: Výroba elektřiny na jihoamerických zemích v roce 2014**  
[MWh/obyv.]

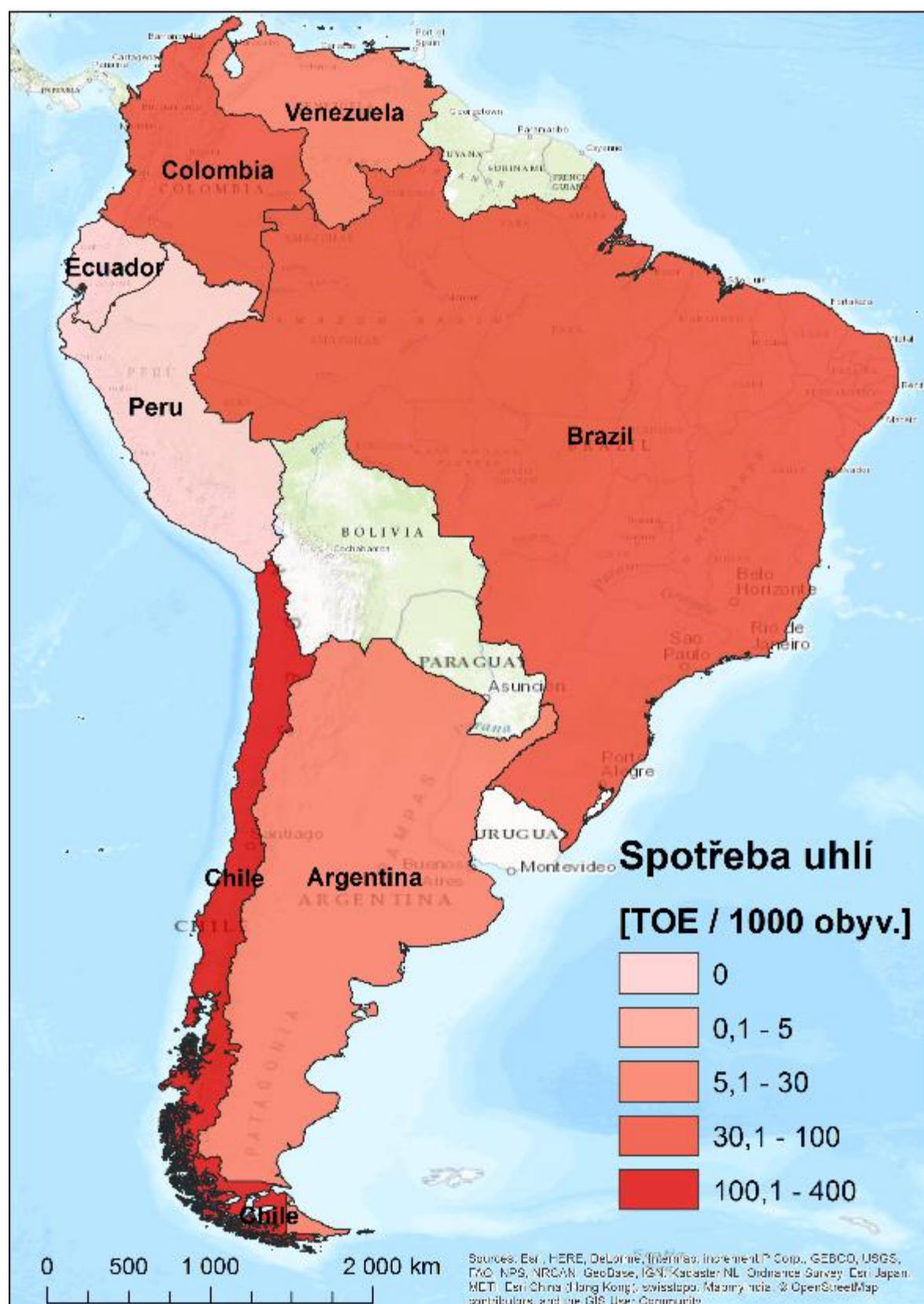


**PŘÍLOHA 4:** Spotřeba ropy jihoamerických států v roce 2014 [tun/obyv.]

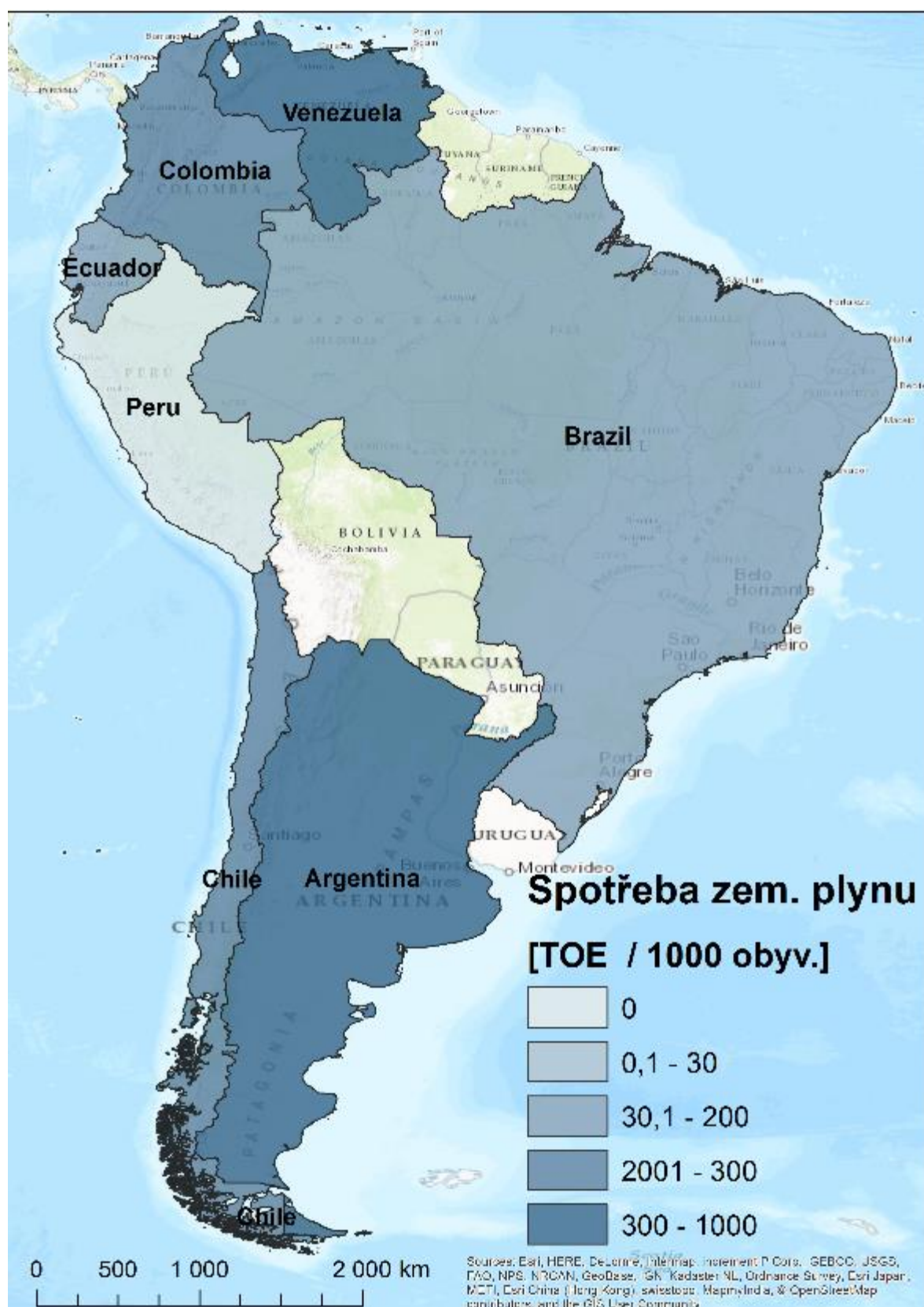




**PŘÍLOHA 5: Spotřeba uhlí jihoamerických států v roce 2014**  
 [TOE/1000 obyv.]



**PŘÍLOHA 6: Spotřeba zemního plynu jihoamerických států v roce 2014**  
 [TOE/1000 obyv.]



**PŘÍLOHA 7:** Emise CO<sub>2</sub> jihoamerických států v roce 2014 [tun/obyv.]





**PŘÍLOHA 8: Spotřeba vodní energie jihoamerických států v roce 2014**  
 [TOE·km<sup>-2</sup>]



**PŘÍLOHA 9:** Spotřeba energie z OZE na jihoamerických zemích v roce 2014 [TOE·km<sup>-2</sup>]

